

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**KAUPALLISTEN MINILENNOKKIEN AIHEUTTAMA UHKA JA SEN
TORJUNTAKEINOT RAKENNETULLA ALUEELLA RAUHAN AIKANA**

Pro Gradu

Yliluutnantti
Ivar Kullberg

SM9
Maasotalinja

huhtikuu 2020

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 9	Linja Maasotalinja
Tekijä Yliluutnantti Ivar Kullberg	
Tutkielman nimi KAUPALLISTEN MINILENNOKKIEN AIHEUTTAMA UHKA JA SEN TORJUNTAKEINOT RAKENNETULLA ALUEELLA RAUHAN AIKANA	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Huhtikuu 2020	Tekstisivuja 81 Liitesivuja 15
TIIVISTELMÄ <p>Kaupallisesti saatavilla olevien minilennokit ovat aiheuttaneet vaaratilanteita ja niitä on käytetty rikollisuuteen sekä terrorismiin. Lennokki voi toimia lavettina räjähteelle, kemialliselle aseelle, tuliaseelle, ELSO- tai tiedustelujärjestelmälle. Sitä voidaan käyttää ryöstöissä, salakuljetuksessa tai lentoliikenteen häirinnässä. Tulevaisuudessa lennokeista tulee itenäisempiä ja vaikeammin häiritäviä. Internetyhteyden kautta ohjattavat lennokit, lennokitparvet ja lennokeille suunnattu lennonjohto ovat mahdollisia tulevaisuuden teknologioita. Laki Puolustusvoimista 15 a § (5.12.2018/1089) oikeuttaa Puolustusvoimat puuttumaan lennokkien kulkuun.</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin, minkälaisen uhan lennokit muodostavat ja miten sitä voidaan torjua rakennetulla alueella rauhan aikana kirjallisuuden ja haastatteluiden avulla. Näiden perusteella tehtiin vaatimusmäärittely. Lähteinä käytettiin tapauksia ja lennokintorjuntajärjestelmiä käsitteleviä internet- sekä kirjallisuuslähteitä, joista tärkeimmät ovat Cornell Universityn julkaisema tutkimus ja <i>Introduction to Multicopter Design and Control</i>. Tutkimuksessa haastateltiin rikosylikomisaario J. Jylhää, Rajavartiolaitokselta KAPT M. Rättyä sekä PVTUTKL erikoistutkija M. Miettistä ja johtava tutkija T. Kaurilaa.</p> <p>Lennokkien paikantamiseen voidaan käyttää tutkaa, optista sensoria, radiosuuntimista ja akustista paikantamista sekä torjumiseen elektronista häirintää, ohjauksen kaappaamista, suunnatun energian asetta, kineettistä vaikuttamista ja lennokin pyydystämistä verkkoon.</p> <p>Vaatimusmäärittelyssä tapaukset ja skenaariot jaoteltiin kolmeen käyttötilannetyyppiin. Näin muodostettiin 29 erilaista käyttötilannetyypin ja skenaarion/tapauksen yhdistelmää. Lisäksi luotiin kolme virhetilanneskenaariota. Jokaisesta saaduista 32 tilanteesta kerättiin vaatimukset. Vaatimukset kopioitiin taulukkoon ja saman sisältöiset yhdistettiin. Lopuksi lisättiin tutkimuksen muissa osissa esiin tulleet vaatimukset, kieliasu yhtenäistettiin ja määritettiin vaatimusten prioriteetit. Kriittisimmät vaatimukset keskittyivät lennokkien luotettavaan havaitsemiseen, tunnistamiseen ja torjumiseen ja näiden alavaatimuksiin.</p> <p>Jatkotutkimusaiheet ovat minkälaista havaitsemis- ja torjumistodennäköisyyttä lennokintorjuntajärjestelmältä tulisi vaatia, miten lennokkiuhkaa voidaan torjua lainsäädännön avulla, miten lennokintorjuntajärjestelmää tulisi käyttää ja minkälaisilla järjestelmillä voitaisiin suojata miehitettyjä ilma-aluksia lennokkiuhalta.</p>	
AVAINSANAT <p>UAV, lennokki, drone, multikopteri, lennokintorjunta, vaatimusmäärittely, terrorismi.</p>	

KAUPALLISTEN MINILENNOKKIEN AIHEUTTAMA UHKA JA SEN TORJUNTAKEINOT RAKENNETULLA ALUEELLA RAUHAN AIKANA

Sisältö

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Esittely	1
1.2.	Tutkimusongelma.....	2
1.3.	Rajaukset.....	3
1.4.	Tutkimuksen rakenne	3
1.5.	Tutkimusmenetelmät.....	5
1.6.	Tutkimustilanne	6
1.7.	Lähdekritiikki.....	8
1.8.	Käsitteet.....	8
2.	LENNOKKIEN MUODOSTAMA UHKA	10
2.1.	Tapaukset	10
2.1.1.	Tapaus Angela Merkel	11
2.1.2.	Tapaus Maduro.....	12
2.1.3.	Tapaus Khmeimim	13
2.1.4.	Tapaus Gatwickin lentoasema.....	14
2.1.5.	Tapaus salakuljetus	15
2.1.6.	Tapaus Reswan Ferdaus	16
2.1.7.	Tapaus Aum shinrikyo	16
2.1.8.	Tapaus Daesh	18
2.2.	Yhteenveto tapauksista.....	19
2.3.	Lennoikkitekniiikan kehityssuunnat.....	19
2.4.	Tekniikan kehittymisen vaikutus lennokkauihkaan.....	25
2.5.	Lennoikkien tyypillisiä parametreja.....	26
2.6.	Skenaariot.....	28
2.7.	Skenaario 1: Pommi-isku	29
2.8.	Skenaario 2: Lento-onnettomuus	31
2.9.	Skenaario 3: Ryöstö	32
2.10.	Skenaario 4: Kemikaali-isku	33
2.11.	Skenaario 5: Valetukiasema	35
2.12.	Skenaario 6: Visuaalinen tiedustelu	37
2.13.	Skenaario 7: Lennokki tuliaseseen lavettina	39
2.14.	Yhteenveto tulevaisuudesta.....	41
3.	AKTIIVISET TORJUNTAKEINOT NYT JA TULEVAISUUDESSA	41
3.1.	Käytössä olleita ja olevia aktiivisia menetelmiä	41

3.2.	Ohjauksen kaappaaminen: Mesmer	42
3.3.	Tutkan, optisen sensorin, elektronisen häirinnän ja laserpolttimen yhdistelmä: Dronedome	43
3.4.	Radiosuuntiminen: Silent Archer	43
3.5.	Ympärisäteilevä sotilasmallinen häirintälähetin: ANCILE	44
3.6.	Kädessä pidettävä suuntaava häirintälähetin: DroneGun MkIII	44
3.7.	Ympärisäteilevät siviilimallin häirintälähetimet	45
3.8.	Lennokkien torjuminen petolintujen avulla: Alankomaiden poliisin kotkat.....	45
3.9.	Lennokin torjunta toisella lennokilla: DroneHunter F700	46
3.10.	Lennokin akustinen paikantaminen: Fencepost	47
3.11.	Yhteenveto aktiivisista torjuntamenetelmistä	48
4.	VAATIMUSMÄÄRITTELY TORJUNTAJÄRJESTELMÄLLE.....	50
4.1.	Vaatusmäärittely tutkimusmenetelmänä	50
4.2.	Vaatusmäärittelyn prosessi	50
4.3.	Keskeiset suorituskykyvaatimukset	51
4.4.	Keskeisten sidosryhmät.....	54
4.5.	Käyttötilannetyypit.....	54
4.6.	Taulukko käyttötilannetyypeistä	56
4.7.	Kiinteiden käyttötilannetyypien vaatusmäärittely	58
4.8.	Ennakoivien käyttötilannetyypien vaatusmäärittely	60
4.9.	Reagoivien käyttötilannetyypien vaatusmäärittely	63
4.10.	Virhetilanneskenaariot ja niiden vaatusmäärittely	66
4.11.	Vaatususten kokoaminen.....	67
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET	71
5.1.	Millainen on kaupallisten minilennokkien muodostama uhka.....	71
5.2.	Millaisia aktiivisia keinoja kaupallisten minilennokkien torjuntaan on saatavilla	74
5.3.	Minkälaisia vaatimuksia kaupallisten minilennokkien torjuntajärjestelmälle on rakennetulla alueella rauhan aikana?	76
5.4.	Miten kaupallisten minilennokkien muodostama uhka voidaan torjua rakennetulla alueella rauhan aikana?	80
5.5.	Jatkotutkimuskysymykset	81

KAUPALLISTEN MINILENNOKKIEN AIHEUTTAMA UHKA JA SEN TORJUNTAKEINOT RAKENNETULLA ALUEELLA RAUHAN AIKANA

1. JOHDANTO

1.1. Esittely

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää minkälaisen uhan kaupalliset minilennokit muodostavat ja miten niitä voidaan torjua. Uhkaa tutkitaan tapaustutkimuksena käyttäen hyväksi toteutuneita tapauksia ja asiantuntijahaastatteluiden pohjalta luotuja skenaarioita. Torjuntakeinoja tutkitaan sekä vaatimusmäärittelyn avulla että perehtymällä saatavilla oleviin lennokintorjuntajärjestelmiin. Tutkimuksen tulosten avulla pyritään hahmottamaan uhka, mitä sen torjumiseksi vaaditaan ja minkälaisilla teknisillä ratkaisuilla vaatimuksia voidaan yrittää täyttää. Tutkimuksen viitekehyksenä on rauhan aika ja toimintaympäristönä rakennettu alue. Näkökulmana on Puolustusvoimien toiminnan suojaaminen sekä Puolustusvoimien muille viranomaisille antama virka-apu.

Tutkimuksen aihe on ajankohtainen, koska 1.1.2019 tuli voimaan lakimuutos, joka oikeuttaa Puolustusvoimat puuttumaan tietyin reunaehdoin lennokin toimintaan. ”Puolustusvoimilla on oikeus ottaa ilmailulain (864/2014) 2 §:n 1 momentin 21 kohdassa tarkoitettu lennokki ja 22 kohdassa tarkoitettu miehittämätön ilma-alus teknistä laitetta tai voimakeinoa käyttäen tilapäisesti haltuunsa, estää sen käyttö tai muutoin puuttua sen kulkuun, jos se saapuu oikeudetta puolustusvoimien pysyvässä käytössä tai tämän lain 14 §:ssä tarkoitettussa käytössä olevan alueen yläpuoliseen ilmatilaan tai luvatta sellaiselle ilmailulain 11 §:ssä tarkoitettulle ilmailun rajoitusalueelle, joka sijaitsee edellä tarkoitettun alueen yläpuolella.”[1]

Lennokkien muodostama uhka on korostunut, koska kaupallisten helposti lennätettävien multikoptereiden määrä on kasvanut viimevuosina räjähdysmäisesti. Suomessa on käytössä kymmeniä tuhansia multikoptereita ja niitä koskeva lainsäädäntö sekä valvonta ovat tois- taiseksi löyhää. [2] Lennokkien määrä on kasvussa ja ne aiheuttavat huolimattomalla käsitte- lyllä riskejä [3]. Kaupallisia minilennokkeja on käytetty myös tarkoituksellisesti erilaisiin rikoksiin salakuljetuksesta terrorismiin [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Tutkimuksen viitekehys ja toimintaympäristö perustuvat niiden haasteellisuuteen. Rauhan aika ja siviilien täyttämät asutuskeskukset eivät mahdollista kaikkien Puolustusvoimien perinteisten asejärjestelmien turvallista käyttöä lennokkien torjuntaan. Tämä luo tarpeen uusille suorituskyyville lennokkiuhan torjumiseksi. Rakennetun alueen valinta toimintaympäristöksi perustuu myös siihen, että suurin osa suomalaisista asuu kaupunkialueella. ”Vuoden 2018 lopussa Suomen väestöstä 61 prosenttia asui ydinkaupunkialueella. Ydinkaupunkialue muodostuu sisemmästä ja ulommasta kaupunkialueesta. Ulomman kaupunkialueen ulkoraja tarkoittaa asemakaavoitetun alueen ulkorajaa ja näin ollen kuvaa suunnitellusti rakennettua yhtenäistä kaupunkialuetta [10].”

Tutkimus on maavoimien tilaama. Samaan aikaan tutkimuksen kanssa valmistuu samaan tilaukseen perustuva yliluutnantti Sami Haapsalon Pro Gradu tutkielma *Pienten sotilaslennokkien kustannustehokas torjuntaerittäin lyhyen kantaman ilmatorjunta-aseilla*. Haapsalon tutkimus keskittyy sodanajan toimintaympäristöön ja sotilaallisiin suorituskyyihin.

1.2. Tutkimusongelma

Tutkielman tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

Päätutkimuskysymys:

- Miten kaupallisten minilennokkien muodostama uhka voidaan torjua rakennetulla alueella rauhan aikana?

Apututkimuskysymykset:

- Millainen on kaupallisten minilennokkien muodostama uhka?

- Mitä on jo tapahtunut?

- Mitä voisi tapahtua?

- Millaisia aktiivisia keinoja kaupallisten minilennokkien torjuntaan on käytössä rauhan aikana rakennetulla alueella?

- Minkälaisia vaatimuksia kaupallisten minilennokkien torjuntajärjestelmälle on rakennetulla alueella rauhan aikana?

1.3. Rajaukset

Tutkimuksen tärkeimmät rajaukset ovat viitekehyksenä oleva rauhan aika ja toimintaympäristönä oleva rakennettu alue. Rauhan ajaksi tutkimuksessa käsitetään tilanne, jossa Puolustustilalaki (22.7.1991/1083) ei ole voimassa ja yleistoimivalta on poliisilla. Tutkimuksessa rakennetulla alueella tarkoitetaan taajaman määritelmän täyttävää aluetta. ”Taajamaksi määritellään kaikki vähintään 200 asukkaan rakennusryhmät, joissa rakennusten välinen etäisyys ei yleensä ole 200 metriä suurempi. Taajamien rajauksissa otetaan huomioon asuinrakennusten lisäksi mm. liike-, toimisto- ym. työpaikkoina käytettävät rakennukset [11].”

Osa tutkituista toteutuneista tapauksista ei ole tapahtunut edellä olevien määritelmien mukaisesti rauhan aikana tai rakennetulla alueella. Niitä kuitenkin käsitellään tutkimuksessa edellä mainittujen rajausten näkökulmasta. Kaikki käsitellyt tapaukset edustavat tilanteita, jotka olisivat mahdollisia myös rajausten puitteissa.

Tutkittavat torjuntakeinot on rajattu aktiivisiin. Passiiviset suojautumiskeinot kuten kohteiden panssarointi, hajauttaminen ja naamiointi on rajattu pois.

Lennokkien osalta tutkimuksen ulkopuolelle on rajattu sotilaalliset suorituskyvyt. Lennokit on rajattu sekä koon että saatavuuden mukaan. Kooltaan lennokkien tulee olla yhden ihmisen kannettavissa. Saatavuudeltaan lennokin tulee olla tavalliselle kuluttajalle ostettavissa tai ilman merkittäviä erikoistaitoja ja välineitä itse valmistettavissa yleisesti saatavilla olevista komponenteista.

1.4. Tutkimuksen rakenne

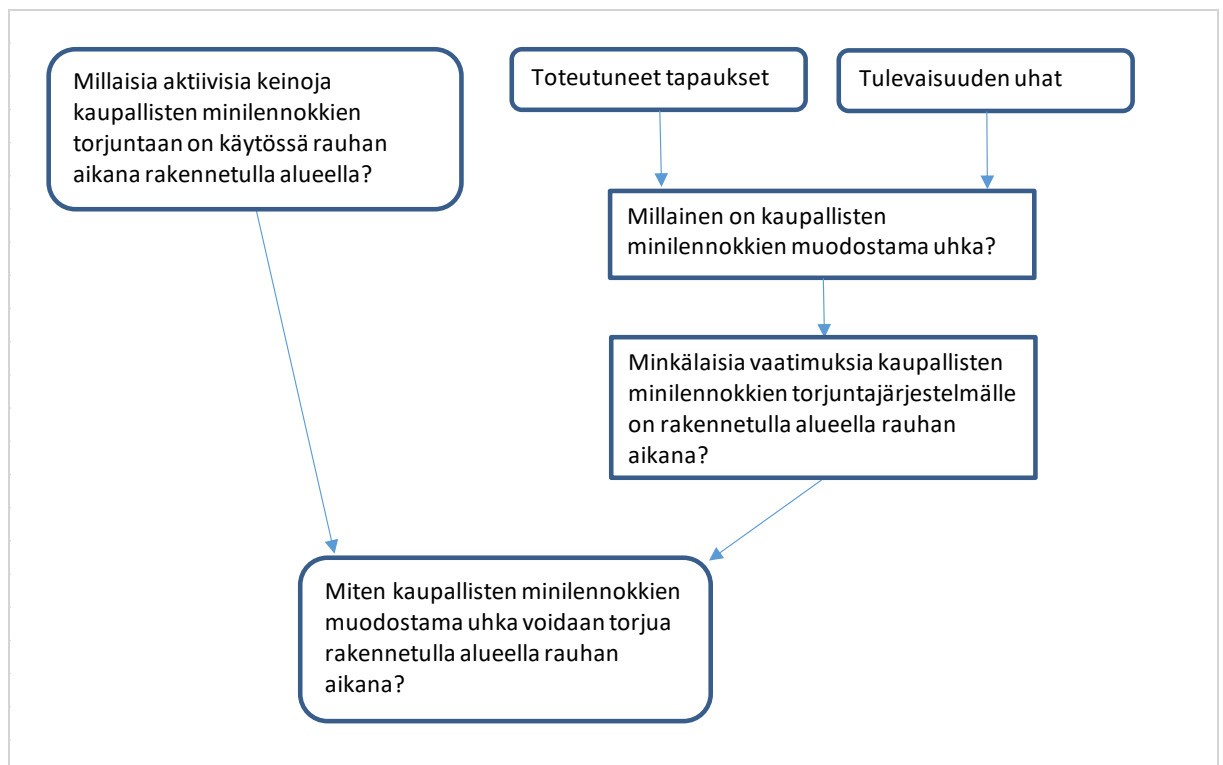
Ensimmäinen pääluku on johdanto, joka kuvailee tutkimuksen ja määrittelee sen aiheen. Johdanto antaa lukijalle perusteet tutkittavan aiheen tarpeellisuudesta ja ajankohtaisuudesta, rajaa sen ja kuvaa tutkimuksen tämänhetkisen tilan. Johdannossa esitellään tutkimuksen rakenne, menetelmät ja tavoitteet.

Toinen pääluku käsittelee pienten kaupallisten lennokkien aiheuttamaa uhkaa. Toinen pääluku voidaan jakaa kahteen kokonaisuuteen. Ensimmäinen kokonaisuus käsittelee jo toteutuneita tapauksia. Kullekin tapauksityypille on omistettu oma alalukunsa, jossa perehdytään toteutuneisiin tapauksiin ja analysoidaan tapausten erityispiirteitä. Kokonaisuuden lopussa on yhteenve-to toteutuneista tapauksista. Toinen kokonaisuus käsittelee tulevaisuuden uhkia. Kokonaisuus koostuu lennokkitekniikan kehityssuuntien analysoinnista sekä seitsemästä uhkaskenaariorista. Toinen pääluku vastaa kysymykseen ”Millainen on kaupallisten minilennokkien muodostama uhka?”.

Kolmas pääluku käsittelee lennokintorjuntajärjestelmiä. Saatavilla olevia järjestelmiä tutkimmalla selvitetään minkälaisiin teknisiin ratkaisuihin nykyiset lennokintorjuntajärjestelmät perustuvat. Jokaisesta teknisestä ratkaisusta nostetaan esimerkiksi yksi tai useampi järjestelmä, jonka ominaisuuksiin perehdytään. Pääluvun lopussa on yhteenveto ja pohdintaa erilaisista teknisistä ratkaisuista lennokintorjunnassa. Kolmas pääluku vastaa kysymykseen ”Millaisia aktiivisia keinoja kaupallisten minilennokkien torjuntaan on käytössä rauhan aikana rakennetulla alueella?”.

Neljäs pääluku on vaatimusmäärittely Suomessa rauhan aikana rakennetulla alueella käytettävälle lennokitortuntajärjestelmälle. Tässä pääluvussa toisen pääluvun tapaukset ja skenaarit on jaoteltu kolmeen käyttötilannetyyppiin. Näin on muodostettu 29 erilaista käyttötilannetyypin ja skenaarion tai tapauksen yhdistelmää. Niiden rinnalle on luotu kolme virhetilanneskenaariota. Saaduista 32 eri tilanteesta on skenaariotekniikalla johdettu vaatimusmäärittely. Neljäs pääluku vastaa kysymykseen: ”Minkälaisia vaatimuksia kaupallisten minilennokkien torjuntajärjestelmälle on rakennetulla alueella rauhan aikana?”.

Viides pääluku sisältää johtopäätökset. Se kokoaa aikaisemmin saadut vastaukset apututkimuskysymyksiin sekä vastaa päätutkimuskysymykseen ”Miten kaupallisten minilennokkien muodostama uhka voidaan torjua rakennetulla alueella rauhan aikana?”. Viidennessä pääluvussa esitetään myös jatkotutkimuskysymykset. Alla olevassa kaaviossa on esitetty tutkimuksen eteneminen apututkimuskysymysten kautta päätutkimuskysymykseen.



Kaavio 1: Tutkimuksen prosessi

1.5. Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa päätutkimusmenetelminä on käytetty kirjallisuusselvitystä sekä vaatimusmäärittelyä. Tietoa on hankittu kirjallisista lähteistä ja asiantuntijahaastatteluista. Tutkimuksen toisen pääluvun lähestymistapana on kirjallisuustutkimukseen perustuva laadullinen tapaus-tutkimus, jonka aineistoa on täydennetty asiantuntijahaastatteluin. Kolmannen pääluvun tutkimusmenetelmä on kirjallisuustutkimus. Neljännen pääluvun tutkimusmenetelmä on vaatimusmäärittely.

”Aikaisemmin tuotettua tietoa etsitään, analysoidaan, luokitellaan ja ylipäätään käytetään oman työn pohjana kirjallisuustutkimuksen menetelmällä [12 s.42].” ”Tyypillisesti kirjallisuusselvitys on luettava esitys työn kannalta olennaisesta asiasta. Selvityksen lähteiden tulee olla ajantasaisia ja niitä tulee olla riittävästi [12 s. 42].” Kirjallisuustutkimus on perusmenetelmä, joka on pohjana kaikille tutkimuksille.

Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa kuvailee vaatimusmäärittelyä tutkimusmenetelmänä seuraavasti: ”Vaatimusmäärittelyä ei aina pidetä varsinaisena tutkimusmenetelmänä. Se onkin useita eri tutkimus- ja työskentelymenetelmiä soveltamalla saavutettu muodoltaan tarkasti säädelty lopputulos. Se on kuitenkin prosessina säädelty ja sisältää kohtuullisen selkeitä työvaiheita, kuten kerääminen, jalostaminen, hyväksyminen ja hallinta, joten sen käsittely menetelmänä on puolusteltavissa [13 s. 77].” ”Vaatimus on ilmaisu, joka kuvaa asiakkaan tahtoa liittyen liiketoiminnan, suorituskyvyn, organisaation, tuotteen tai palvelun ominaisuuksiin [14 s. 2].” Tämän tutkimuksen tapauksessa vaatimusten määrittely on asiakkaan tahdon määrittelyä liittyen suorituskyvyn tai tuotteen ominaisuuksiin. Se sopii erinomaisesti vastaamaan kysymykseen *minkälaisia ominaisuuksia* tuotteella tai suorituskyvyllä tulisi olla.

Laadullinen tutkimus pyrkii ymmärtämään tutkittavaa ilmiötä. Tyypillisesti laadullisessa tutkimuksessa käytetään harkinnanvaraista otantaa, jossa tutkittavia yksiköitä ei valita kovinkaan montaa ja niitä tutkitaan perusteellisesti. Aineiston tulisi olla kattava suhteessa siihen millaista analyysia ja tulkintaa siitä aiotaan tehdä. ”Laadulliselle analyysille on tyypillistä induktiivinen päättely, jossa pyritään tekemään yleistyksiä ja päätelmiä aineistosta nousevien seikkojen perusteella. Aineistoa pyritään tarkastelemaan monitahoisesti ja yksityiskohtaisesti nostoen siitä esiin merkityksellisiä teemoja.” [15]

Tapaustutkimus on tutkimustapa, ei tutkimusmenetelmä. Tapaustutkimus on hyvä keino etsiä vastauksia *miten* ja *miksi* tyyppisiin kysymyksiin, koska se tarkastelee monesti sellaisia ilmiöitä, jotka ovat monimutkaisia ja jatkuvat pitkään. Tapaustutkimuksen ”Päämääränä on lisätä ymmärrystä tutkittavasta tapauksesta ja olosuhteista, joiden lopputuloksena tapauksesta tuli sellainen kuin tuli.”[16 s. 9-10] Tapaustutkimuksessa käsitellään tarkasti yksittäistä tapausta tai pientä tapausjoukkoa. Aineistohaussa käytetään useita metodeja ja tutkimuksen tavoitteena on usein ilmiön kuvailu. [17 s.134-135] Tutkimustapana tapaustutkimus soveltuu toiseen pääluokkaan hyvin, sillä tutkimuksen tärkein aineisto koostuu nimenomaan tapauksista. Osa tapauksista on toteutunut ja osa skenaarioita, mutta niiden molempien avulla pyritään ymmärtämään kaikkien tapausten ja skenaarioiden taustalla olevaa ilmiötä, lennokkien muodostamaa uhkaa.

Asiantuntijahaastattelulla on tutkimuksessa päästy käsiksi kaikkein uusimpaan tietoon sekä viranomaisten arvioihin tulevaisuudesta. Haastatteluissa on pyritty sekä varmentamaan kirjallisuusselvityksen havaintoja että myös paikkaamaan kirjallisuusselvityksen aukkoja. Haastatellut asiantuntijat ovat rikosylikonstaapeli Jaakko Jylhä Tampereen poliisilaitokselta, Raja- ja merivartiokoulun Rajojen valvonnan ja kenttätöiminnän pääopettaja kapteeni Markku Rätty sekä Puolustusvoimien tutkimuslaitokselta erikoistutkija Mikko Miettinen ja johtava tutkija Timo Kaurila. Rikosylikonstaapeli Jylhä valikoitui haastateltavaksi kesällä 2018 Santahaminassa pitämänsä lennokkiaiheisen luennon perusteella. Kapteeni Rätty valikoitui Maanpuolustuskorkeakoululla pidetyn lennokkiuhkaa käsitelleen luennon perusteella. Erikoistutkija Miettinen ja johtava tutkija Kaurila valikoituivat tutkimuksen ohjaajan suosituksesta. Haastattelut on toteutettu sähköpostitse.

1.6. Tutkimustilanne

Kaikesta minilennokkeihin liittyvästä kirjoitetaan paljon erilaisissa medioissa ja niihin liittyviä asioita tutkitaan jatkuvasti. Alan kehitys johtaa kuitenkin tutkimuksen nopeaan vanheneamiseen uusien teknologioiden ja käyttökohteiden ilmestyessä. Seuraavissa kappaleissa esitellään lennokintorjuntaa käsitteleviä tuoreita tutkimuksia. Ensimmäisenä on kotimainen tutkimus sitten ulkomainen.

Suomalaisista tutkimuksista lähimpänä tämän tutkielman aihetta on Aki Torniaisen Poliisi AMK:n opinnäytetyönä tekemä ”*Drone-uhka! – Miehittämättömien lennokkien valvonta ja torjunta*” vuodelta 2018, jossa aihetta käsitellään poliisin näkökulmasta. Tutkimuksen painopiste on tavanomaisessa rikollisuudessa sekä tahattomassa lain rikkomisessa. Torniaisen käsittelee lyhyesti lennokkien muodostamaa uhkaa terrorismin välineenä. [18]

Tutkimuksen kolmannen pääluvun aihetta käsittelevä yliluutnantti Mikko Mäenpään Pro Gradu tutkielma ”*Kyberelektronisten menetelmien soveltuvuus lennokkien torjuntaan lentotukikohdassa*” ilmestyi vuonna 2019 tämän tutkielman ollessa vielä kesken. Mäenpään tutkimus kuitenkin keskittyy yksinomaan kyberelektronisiin keinoihin. [19]

Kaupallisten minilennokkien suorituskykyä tutki yliluutnantti Sampo Nurmio Pro Gradu tutkielmassaan ”*Pienten kaupallisten multikopterien suorituskyky taistelukentän valvonnassa*” vuonna 2018. Tämä tutkimus avaa lennokkien suorituskykyä esimerkiksi tiedustelutehtävässä hyvin ja sitä voidaan käyttää lähteenä tutkittaessa millaisen tiedustelu-uhan kaupalliset minilennokit aiheuttavat. [20]

Lähellä tämän tutkimuksen aihetta on vuonna 2019 julkaistu SOK -artikkeli: ”*Security and Privacy in the Age of Drones: Threats, Challenges, Solution Mechanisms, and Scientific Gaps*”. Artikkelin kirjoittajat ovat Ben Nassi, Asaf Shabtai ja Yuval Elovici Ben-Gurionin yliopistolta ja Ryusuke Masuoka Fujitsu Systems Integration Laboratoriesilta. Artikkelin vertailee erilaisia akateemisen tutkimuksen ja alan teollisuuden esiin nostamia menetelmiä uhkaavien lennokkien havaitsemiseksi ja torjumiseksi. Artikkelissa käsitellään lennokkitekniikkaa, lennokkien muodostamaa uhkaa sekä keinoja havaita ja torjua lennokki. Lennokkitekniikan ja uhan käsittely on suuresta lähteiden määrästä huolimatta pääosin pintapuolista. Lennokkien havaitsemiseen ja torjumiseen käytettävien menetelmien vertailu on kattava. [21]

Huhtikuussa 2018 julkaistussa IEEE Communications Magaziinissa on kaksi lennokkien torjuntaa käsittelevää tieteellistä artikkelia. Ensimmäisen artikkelin nimi on ”*Anti-Drone System with Multiple Surveillance Technologies: Architecture, Implementation, and Challenges Drones*”. Sen ovat kirjoittaneet Xiufang Shi, Chaoqun Yang, Weige Xie, Chao Liang, Zhiguo Shi ja Jiming Chen. Artikkelin käsittelee kenttäkokeena Zhejiangin yliopiston kampusalueelle rakennetun lennokintorjuntajärjestelmän suunnittelua ja rakentamista. Toteutettu järjestelmä perustuu tunnistamisen ja paikantamisen osalta kolmeen passiiviseen menetelmään. Radiosuuntimiseen, äänentunnistukseen ja konenäköön. Torjuntamenetelmänä on radiohäirintä. Käytettyjen menetelmien lisäksi artikkeli esittelee lyhyesti lennokkien muodostaman uhan ja tutkan käytön lennokintorjunnassa. [22]

Toinen IEEE Communications Magazinen lennokintorjuntaa käsittelevä artikkeli on ”*Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones*”. Artikkelin ovat kirjoittaneet İsmail Güvenç, Farshad Koohifar, Simran Singh, Mihail L. Sichitiu ja David Matolak. Se painottuu lennokkien tunnistamiseen ja paikantamiseen. Käsitellyt menetelmät ovat radiosuuntiminen, tutka, akustinen ja optinen paikantaminen. [23]

Helmikuussa 2018 Center for the Study of the Drone at Bard College julkaisi Arthur Holland Michelin kirjoittaman artikkelin ”*COUNTER-DRONE SYSTEMS*”. Siinä on kerätty yhteen laaja aineisto kaupallisia lennokintorjuntajärjestelmiä. Aineisto koostuu 235 eri tuotteesta, joista jokaisesta on kerätty seuraavat tiedot: Valmistaja, tuotteen nimi, valmistusmaa, tunnistusmenetelmät, torjuntamenetelmät ja lavetti. Aineistoa käsitellään tilastollisin menetelmin. [24]

Osa lennokkien muodostamaan uhkaan ja sen torjuntaan liittyvästä tutkimuksesta sekä Suomessa että ulkomailla on turvaluokiteltua. Tämän tutkimuksen ollessa julkinen, ei turvaluokiteltuja lähteitä ole käytetty.

1.7.Lähdekritiikki

Tutkielman aihe on tällä hetkellä pinnalla oleva ja nopeasti kehittyvä aihe. Tutkielman kirjoittamisen aikana on ilmestynyt valtava määrä uusia aihetta käsitteleviä artikkeleita ja tutkimuksia. Tämä osoittaa tutkimuksen ajankohtaisuuden, mutta myös vaikeuttaa laadukkaiden lähteiden löytämistä. Tieto vanhenee ja tekniikka kehittyy nopeasti.

Monet alkuperäislähteet ovat tieteellisen tarkastelun näkökulmasta heikkoja. Esimerkiksi kamerakännykällä kuvattu ja Youtubeen ladattu video ilmassa räjähtävästä lennokista ei ole vahva tieteellinen lähde. Toisaalta se on aito alkuperäisdokumentaatio todellisesta tapauksesta ja näin ollen vahvin mahdollinen dokumentti tapahtuneesta. Tutkittaessa tieteellisesti vahvojen lähteiden lähteitä, päädytään usein haastatteluun tai epätieteelliseen raporttiin tapahtumasta. Tästä syystä on tutkielmassa pyritty käyttämään mahdollisimman laajaa valikoimaa lähteitä ja varmentamaan asiat useammasta lähteestä.

Tutkielman lähteinä on käytetty alkuperäislähteiden lisäksi tieteellisiä artikkeleita ja opinnäytetöitä, joiden luotettavuutta voidaan pitää korkeana. Haastattelussa asiantuntijoiden pieni määrä aiheuttaa riskin tulosten luotettavuudelle. Sitä on pyritty vähentämään valitsemalla haastateltavat huolellisesti sekä haastattelukysymysten sekä jatkokysymysten asettelulla. Haastatteluaineisto ei ollut ristiriidassa itsensä eikä kirjallisuuden kanssa.

1.8.Käsitteet

Rauhan aika: Rauhan ajalla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa tilannetta jossa Puolustustilalaki (22.7.1991/1083) ei ole voimassa ja yleistoimivalta on poliisilla.

Rakennettu alue: Tässä työssä rakennetulla alueella tarkoitetaan suomalaista taajamaa. Taajaman määritelmä on ”Taajamaksi määritellään kaikki vähintään 200 asukkaan rakennusryhmittä, joissa rakennusten välinen etäisyys ei yleensä ole 200 metriä suurempi. Taajamien rajoituksissa otetaan huomioon asuinrakennusten lisäksi mm. liike-, toimisto- ym. työpaikkoina käytettävät rakennukset.” [11]

Kaupallinen lennokka: Kuluttajan ostettavissa oleva lennokka. Vaihtoehtoisesti sellainen lennokka, jonka kuluttaja pystyy ilman merkittäviä erikoistaitoja ja välineitä itse valmistamaan käyttäen yleisesti saatavilla olevia komponentteja.

Lennokka: Tässä työssä tarkoitetaan lennokilla kauko-ohjattavaa tai autonomista kiinteäsiipistä tai pyöriväroottorista lentolaitetta.

Kiinteäsiipinen lennokka: Lennokka, jonka siivet ovat kiinni rungossa ja jonka noste perustuu lentolaitteen liikkeeseen. [25 s. 3]

Multikopteri: Lennokka, jossa on kolme tai useampia nosteen tuottavia potkureita. Multikopterin ohjaaminen tapahtuu säätämällä potkureiden suhteellisia kierrosnopeuksia. [25 s. 3-4]

Drone: kansankielinen ilmaisu erityisesti moniroottorisista lennokeista [2, 26].

Suorituskyky: ”Suorituskyky on keino saada aikaan haluttu vaikuttavuus huomioiden uhka, toimintaympäristö ja muut olosuhteet. Suorituskyky muodostuu, kun tarvittava henkilöstö, materiaali, käyttö- ja toimintaperiaatteet, informaatio sekä organisaatio muodostavat toimintakykyisen kokonaisuuden [27 s. 91].”

Suorituskykyvaatimus: ”Suorituskykyvaatimukset kertovat mitä vaikuttavuutta tavoitellaan (eli mitä halutaan saada aikaan). Suorituskykyvaatimukset pyritään sitomaan tehtävätarvetta tai tehtävää kuvaaviin käsitteisiin (niin sanotut operatiiviset käsitteet kuten pitää, lyö, torjuu, jne.). Suorituskykyvaatimuksissa ei tule kuvata ratkaisu- tai toteutusvaihtoehtoja, pois lukien mahdolliset toteutuksen reunaehdot ja rajoitteet [28].”

Uhka: ”Uhka = Tahto x Kyky, jonka lisäksi otetaan huomioon miten todennäköinen ja vaikuttava uhka on [29].” Tämä tutkimus keskittyy kyvyn osuuteen uhasta.

Autonominen lennokka: Autonomia on riippumattomuutta ulkoisesta ohjauksesta. Tälle riippumattomuudelle on useita eri asteita, jotka vaihtelevat lennättäjää avustavista toiminnoista tekoälyn ohjaamaan lennokkiin [30]. Tässä tutkimuksessa autonomisella lennokilla tarkoitetaan lennokkia, joka ei tarvitse tehtävänsä toteuttamiseen lennättäjää lentoonlähdön jälkeen.

Kineettinen vaikuttaminen: Mekaaniseen kappaleeseen ja sen liike-energiaan perustuva vaikuttaminen.

Suunnatun energian ase: ”Suunnatun energian aseet perustuvat suuritehoiseen radiotaajuiseen tai optiseen pulssiin tai suurelle nopeudelle kiihdytettyihin hiukkasiin. Tavoitteena on kohdentaa maaliin niin suuri hetkellinen energia, että se tuhoutuu tai vaurioituu suuren sähkökentän voimakkuuden tai termisen tai mekaanisen shokin vuoksi [31 s. 392].”

Geofencing: Laitevalmistajan lennokkiin asentama ohjelmisto, joka estää lennokin lennättämisen valmistajan ennakoon määrittämällä paikoilla tai asettaa rajoituksia lentokorkeudelle. [32]

2. LENNOKKIEN MUODOSTAMA UHKA

2.1. Tapaukset

Lennokeilla on tehty sekä onnistuneita sekä epäonnistuneita iskuja siviili- ja viranomaiskohteita vastaan ja niitä on käytetty rikollisiin tarkoituksiin. Tähän lukuun on kerätty joukko toteutuneita tapauksia, joissa lennokki on muodostanut uhan. Osassa tapauksista uhka on toteutunut ja toisissa ei. Olennaista on kuitenkin huomata, että kaikissa käsitellyissä tapauksissa uhka olisi voinut toteutua ja tapaus olisi mahdollinen myös Suomessa tämän tutkielman rajausten puitteissa. Tutkimuksessa on käytetty kaikkia toteutuneita tapauksia, joista on ollut saatavilla riittävän tarkat tiedot. Poikkeuksena on salakuljetus, josta löytyi riittävästi esimerkkejä Suomesta, jotta tarkastelu voitiin rajata vain kotimaisiin tapauksiin. Tapaukset on jaoteltu tyyppeihin, joista kutakin edustaa yksi tai useampi tapaus. Tapaukset on jaoteltu seuraavasti: Tapaus Angela Merkel on esimerkki lennokilla toteutetusta häirinnästä; Tapaus Maduro on esimerkki henkilöön kohdistuvasta lennokkipohjaisesta pommi-iskusta; Tapaus Khmeimim on esimerkki lennokeilla toteutetusta iskusta viranomaiskohdetta vastaan; Tapaus Gatwickin lentoasema on esimerkki lentoliikenteen häirinnästä lennokeilla; Tapaus salakuljetus on esimerkki siitä, miten lennokkeja voidaan käyttää rikollisuudessa; Tapaus Reswan Ferdaus on esimerkki kiinteää kohdetta vastaan suunnatusta iskusta; Tapaus Aum shinrikyo on esimerkki lennokkipohjaisesta kemiallisin asein toteutetusta iskusta; Tapaus Daesh on esimerkki lennokkipohjaisesta ihmisjoukkoa vastaan suunnatusta pommi-iskusta. Tapauksessa Daesh on koottu yhteen havaintoja lukuisista Daeshin tekemistä iskuista. Tarkastelun kohteena ei siis ole yksittäinen tapahtuma vaan tapahtumien joukko.

2.1.1. Tapaus Angela Merkel

15.9.2013 Saksan Dresdenissä paikallisen Piraattipuolueen operoima pienikokoinen nelikopteri lensi kampanjatilaisuudessa Saksan liittokansleri Angela Merkelin ja puolustusministeri Thomas de Maizierin eteen leijuntaan. Hetkeä myöhemmin lennokki putosi lavalle heidän jalkoihinsa, josta turvamies kävi hakemassa sen. [33]

Lennokki oli aseistamaton, eikä sen tavoitteena ollut fyysisen vahingon aiheuttaminen, vaan poliittisen mielipiteen ilmaiseminen. Kuitenkin tapaus osoittaa kuinka lähelle länsimaista valtionpäämiestä päästiin kaupallisella lennokilla. Jo pieni räjähdde noin lyhyeltä etäisyydeltä olisi riittänyt tappavan vaikutuksen saavuttamiseen. [4]

Huomattavaa on myös tuon ajan suhtautuminen lennokkiuhkaan. Lavalla olleet ihmiset suhtautuivat edessään leijuvaan lennokkiin huvittuneesti, eivätkä näyttäneet pitävän sitä minkäänlaisena uhkana. [4, 33]

Samaan kategoriaan voidaan laskea myös 18.5.2008 Venäjällä lehdistötilaisuuteen lennokilla toteutettu häirintäisku: Kohteena oli Toinen Venäjä -oppositioryhmittymän edustaja Garri Kasparov. Isku toteutettiin lennättämällä dildon sisään rakennettua pienoiskopteria pitkin salia ja lopulta Kasparovin läheisyyteen. Tilanne päättyi turvamiehen lyötyä kädellään kopterin ilmasta. Todennäköisesti iskun tavoitteena oli saattaa Kasparov naurunalaiseksi eikä varsinaisesti uhata häntä. Tilanteessa otetusta videotallenteesta näkyy selvästi, että paikalla olevat toimittajat olivat selvästi huvittuneita ja keskittyivät tilanteen seuraamiseen. Merkkejä siitä, että kopteria olisi pidetty vaarallisena ei näy, paitsi turvamiehen toiminta. [34, 35, 36, 37]

Lähdekritiikin näkökulmasta on huomioitava, että tilanteesta kuvattujen videoiden iän ja huumoriarvon takia niitä on jaettu lukuisia kertoja uudelleen, usein väärin tiedoin. Esimerkiksi yhdessä versiossa väitetään videon kuvaavan Venäjän varaenergiaministeriä Anatoly Yankovskia pitämässä lehdistötilaisuutta Ukrainan liuskekaasusta otsikolla: "Ukrainian Shale Gas: Free Energy for Russia." [38] ja toisessa taas samaa tapausta kuvaava toinen video on tekstitetty ilmeisen tahallisesti virheellisesti huumoriarvon korottamiseksi [37]. Internetissä kiertää myös muita virheellisiä tietoja tapauksesta kuten väite siitä, että kyseessä olisi avaruusaiheinen konferenssi [39].

Tutkimuksen rajausten puitteissa tämänkaltainen tapaus voisi koskea esimerkiksi valtion- ja Puolustusvoimien ylintä johtoa. Tarkoituksena voisi olla osoittaa yksittäisten henkilöiden suojattomuus ja näin vaikuttaa päätöksentekoon ja mahdollisuuksiin toteuttaa julkisia esiintymiä. Toisaalta vaarattomaksi naamioitu kohde saattaisi päästä lähemmäs kohdettaan ennen epäilysten heräämistä ja vastatoimien aloittamista, mikä taas avaa mahdollisuuden päästä tehokkaaseen vaikutukseen myös pienellä asekuormalla.

2.1.2. Tapaus Maduro

4.8.2018 Venezuelan presidentti Nicolás Maduro piti kansalliskaartin vuosipäivän puhetta Caracasissa. Kesken puheen tapahtui kaksi räjähdystä, jotka johtivat puheen keskeytymiseen, presidentin evakuointiin ja sotilasparaatin pakenemiseen. [5] Venezuelan virallisen tiedotteen mukaan kyseessä oli kahdella DJI Matrice 600 lennokilla toteutettu hyökkäys, joka onnistuttiin torjumaan elektronisilla vastatoimilla. Kummallakin lennokilla oli asekuormanaan noin 1kg muovailtavaa räjähdysainetta. Tapausta epäiltiin aluksi lavastetuksi, mutta tutkivan journalismin verkkoyhteisö Bellingcatin tutkimusten mukaan vaikuttaa siltä, että iskuyritys on todellinen. [40]

Vaikka isku epäonnistui, voidaan todeta, että uhka oli todellinen. Käytetty asekuorma oli riittävän järeä, että se olisi aiheuttanut merkittävää tuhoa kohteessaan. Kohteena ollut presidentti Maduro oli suojattu lennokkiuhkaa vastaan, mutta samoilla lennokeilla olisi voitu iskeä myös huomattavasti heikommin suojattua kohdetta vastaan, jolloin onnistumisen todennäköisyys olisi ollut suurempi.

Verrattaessa tapausta viisi vuotta aiemmin tapahtuneeseen lennokkioperaatioon Merkeliä vastaan erona on, että nyt lennokit olivat asekuormassa, vastatoimia käytettiin ja tapaus otettiin heti alkuunsa vakavasti.

Tutkimuksen rajausten puitteissa tämä on erinomainen esimerkki siitä, miten lennokkia voitaisiin käyttää iskuun valtionjohtoa tai Puolustusvoimien henkilöstöä vastaan. Nyt kohteena oli presidentti Maduro, mutta jos lennokki olisi ollut tähdätty paraatiin, ei sitä ehkä olisi ehditty torjua ajoissa. Jo nyt paraateja suojataan erilaisilta terrori-iskuilta esimerkiksi ajoestein ja sotilaspoliisein, mutta jatkossa näissä suojausjärjestelyissä on syytä huomioida myös lennokkiuhka.

2.1.3. Tapaus Khmeimim

6.1.2018 Venäjän ilmavoimien tukikohta Syyriassa joutui lennokka-iskun kohteeksi. Venäjän puolustusministeriön tiedotteen mukaan iskuun osallistui 13 kotitekoista lennokkia, joista yksikään ei päässyt tavoitteeseensa. Kuuden lennokin ohjaus saatiin kaapattua elektronisen sodankäynnin keinoin ja näistä kaapatusta kuudesta lennokista kolme saatiin laskeutumaan turvalliselle alueelle ja kolme räjähti laskeutumisen yhteydessä. Lisäksi venäläinen Pantsir-S ilmatorjuntajärjestelmä ampui alas loput seitsemän lennokkia [6].

Iskussa käytetyt lennokit olivat rakenteeltaan yksinkertaisia vanerirunkoisia ja muovikalvo-päällysteisiä kiinteäsiipisiä ilma-aluksia, joiden siipien kärkiväli oli 3-4m. Voimanlähteenä oli polttomoottori ja yksi potkuri. Navigointi perustui GPS-signaaliin. Arvioidun lähtöpaikan ja kohteen välinen etäisyys oli noin 100 kilometriä. Etäisyyden ja rakenteen perusteella Bel-lingcatin tutkijat ovat todenneet lennokkien sisältäneen jonkin tasoista autonomisuutta. [41]

Iskussa oli asekuormana kymmenen tytärpommiä jokaisessa lennokissa. Tytärpommeissa oli kärjessä iskusytyttimet ja muovisen rungon sisällä kuulalaakereita räjähdysaineen ympärillä. Tytärpommit vaikuttavat olevan tarkoitukseen erikseen valmistettuja, eivätkä tavanomaisista ampumatarvikkeista muokattuja. Lennokkien ja tytärpommien rakenteen perusteella Bel-lingcat päätteli lennokkien pyrkineen lentämään ennalta määrättyä reittiä kohteeseensa ja määrättyssä koordinaattipisteessä pudottamaan asekuormansa. [41]

Tämän tapauksen erottaa edellisistä se, että isku oli suunnattu sotilaskohdetta vastaan. Isku onnistuttiin torjumaan käyttäen yhdistelmää elektronista vaikuttamista ja kineettistä voimaa. Edellisissä tapauksissa ei ilmatorjuntajärjestelmää olisi voitu käyttää siviiliympäristön takia. Huomattavaa on, että sekä tässä että Maduron tapauksessa elektronisesti torjuttu uhka aiheutti asekuorman toimimisen, joskaan ei hyökkääjän tavoittelemassa paikassa.

Tämän tutkimuksen rajausten puitteissa Khmeimimin isku olisi ollut huomattavasti vaikeampi torjua ja torjumisen aiheuttamat sivullisille aiheutuneet tappiot olisivat saattaneet nousta erittäin korkeiksi. Rakennetulla alueella, jolla on siviilitoimintaa, ei todennäköisesti pystyittäisi käyttämään kineettisiä järjestelmiä lennokkien torjumiseksi, vaikka ne havaittaisiin ajoissa. Mikäli lennokit pudotettaisiin, aiheuttaisivat ne edelleen vaaraa sivullisille.

2.1.4. Tapaus Gatwickin lentoasema

Gatwickin lentoasemalla Isossa-Britanniassa havaittiin lennokka joulukuun 19. päivä 2018. Havainto aiheutti lentoaseman sulkemisen aikavälillä 19.12.2018 - 21.12.2018 aiheuttaen muutoksia noin tuhanteen lentoon ja vaikuttaen noin 140 000 matkustajaan. Useat silminnäkijät havaitsivat lennokin Gatwickin kentän alueella, mutta konkreettisia todisteita tapauksesta ei kuitenkaan saatu. Poliisi yritti löytää lennokin ja sen lennättäjän tai lennättäjät ja kutsui Ison-Britannian asevoimat apuun kentän suojaamiseksi. Tapauksen aiheuttanutta lennokkia tai sen lennättäjiä ei kuitenkaan kyetty löytämään. Julkisuudessa on esitetty myös epäilyksiä, että alueella ei koskaan ollutkaan luvaton lennokkia tai että vain ensimmäiset havainnot koskivat luvaton lennokkia, mutta myöhemmät havainnot saattoivat olla peräisin poliisin käyttämistä lennokeista. Tilanteen ratkaisemiseksi lentoasema hankki lennokintorjuntajärjestelmän ja Ison-Britannian ilmavoimat suojasivat kenttää kaupallisen järjestelmän saapumiseen saakka. [42, 43, 44, 45]

Lentoaseman sulkemisen syynä oli lennokin muodostama uhka lentoliikenteelle. Viranomaiset pelkäsivät lennokin ja lentokoneen törmäävän, mikä voisi aiheuttaa lentokoneen putoamisen. BBC:n saamien tietojen mukaan tavanomainen noin kilon painoinen lennokka riittää aiheuttamaan vakavaa vauriota matkustajalentokoneelle. [46]

Lentoliikenne ja kaupalliset lennokit ovat olleet vähällä törmätä myös kymmenissä muissa tapauksissa. BBC:n mukaan yksin vuonna 2017 on ollut 92 tapausta, jossa lentokoneet ja lennokit ovat olleet vaarallisen lähellä toisiaan [46]. Wikipedia ylläpitää listaa tunnetuista lennokkeihin liittyvistä onnettomuuksista ja läheltä piti-tilanteista [47].

Voidaan todeta, että kyseessä ei todennäköisesti ollut tarkoituksellinen isku lentoliikennettä vastaan eikä uhka toteutunut. Tapaus on kuitenkin vain yksi monista ja edustaa poikkeuksellisen laajasti tutkittua ja dokumentoitua tilannetta. Kuitenkin yksi lennokka aiheutti valtavan viranomaisoperaation, yli sadantuhannen matkustajan liikkumiseen vaikuttaneen seisauksen ja huomattavia investointeja lentoasemalle. Mikäli lennokkia tai lennokkeja olisi käytetty tarkoituksellisesti lentoliikenteen häirintään, olisi pysäytys voinut jatkua vielä pidempään ja aiheuttaa suurempiakin ongelmia.

Lisäksi tulee huomioda, että lennokkia olisi voitu yrittää käyttää myös tietoisesti lentokoneen pudottamiseen, jolloin sen havaittavuutta olisi ehkä pyritty vähentämään ja se olisi viety tarkoituksellisesti törmäyskurssille nousevien tai laskevien lentokoneiden reitille. Mikäli lennokka olisi naamioitu tai sen havaittavuutta olisi muuten pienennetty, olisiko sitä kyetty alun perinkin havaitsemaan ennen kuin se olisi aiheuttanut onnettomuuden?

Tämän tutkimuksen rajausten puitteissa Puolustusvoimia vastaan käytettynä tämänkaltainen tapaus voisi vaarantaa ilmavoimien koneiden ja helikoptereiden toiminnan tunnetuilla rauhan ajan kentillä. Toisin kuin Gatwickissa, ei Puolustusvoimilla välttämättä olisi varaa jättää lentoja toteuttamatta, vaikka kentällä olisikin lennokkiuhka, mikä lisää riskejä. Tämän kaltainen uhka tulisikin huomioida lentotukikohtien varustelussa.

Toinen tapa, jolla lentoliikenteen lennokkipohjaisella häirinnällä voidaan tuottaa uhkaa Puolustusvoimille, on joukkojen sitominen ja kuluttaminen. Mikäli Puolustusvoimat joutuu sitomaan joukkojaan ja kalustoaan siviili-ilmailun suojaamiseen, ovat resurssit poissa käytöstä toisaalla. Tällainen suojaustehtävä saattaisi myös johtaa esimerkiksi tutkien käyttöön, mikä altistaa järjestelmät tiedustelulle sekä vaikuttamiselle.

Lentoliikenteen häirintää lennokeilla voitaisiin myös käyttää osana psykologista operaatiota, jonka tarkoitus on luoda epäluottamusta viranomaisten toimintakykyyn ja näin välillisesti aiheuttaa vahinkoa Puolustusvoimille.

2.1.5. Tapaus salakuljetus

Toukokuussa 2017 Riihimäen vankilaan yritettiin salakuljettaa huumeita ja puhelin lennokilla. Lennokkiin oli kiinnitetty sukka, jonka sisällä salakuljetustavara oli. Yritys epäonnistui koska vartijat havaitsivat lennokin. Lennokki jäi vartijoiden haltuun. Lennättäjää ei saatu kiinni. Myös muissa vankiloissa on tehty havaintoja vastaavista yrityksistä, mutta yhtäkään lennättäjää ei ole toistaiseksi saatu kiinni. Tämänhetkinen lennokkiteknikka mahdollistaa myös muiden salakuljetustavaroiden kuten aseiden toimittamisen. [9, 48]

Heinäkuun puolessa välissä Rajavartiolaitos sai Lappeenrannan alueella ilmoituksen Venäjältä Suomeen lentäneestä lennokista. Asiaa tutkittaessa Rajavartiolaitos sai useampia muitakin havaintoja lennokista tai lennokeista. Saman viikon aikana alueelta löytyi myös metsään pudonnut lennokki, jonka hyötykuormana oli savukkeita. Lisäetsinnöissä maastosta löytyi myös lisää savukepaketteja. Epäilyn mukaan lennokkia oli käytetty salakuljetukseen, mutta ketään ei julkisten tietojen mukaan otettu kiinni tapaukseen liittyen. Rajavartiolaitoksen tietojen mukaan kyseessä oli ensimmäinen lennokilla tehty salakuljetusyritys itärajan yli. [8]

Huomattavaa salakuljetustapauksissa on, että onnistuneista salakuljetuksista ei saada havaintoa. On siis mahdotonta sanoa, kuinka moni lennokilla tapahtunut salakuljetus on onnistunut. Se ettei yhdessäkään tapauksessa ole saatu ketään kiinni, vaikka lennokki on paljastunut, osoittaa miten vaikea lennokin lennättäjää on löytää ja saada kiinni.

Tutkimuksen rajausten puitteissa salakuljetusta voitaisiin käyttää aseiden, räjähteiden tai vaarallisten aineiden kuljettamiseen toiminta-alueella olevalle joukolle tai vihamieliselle ryhmitymälle, mikä aiheuttaa välillisen uhan Puolustusvoimien henkilöstölle. Tapaukset myös osoittavat miten vaikeaa on saada kiinni lennokin käyttäjää ja miten ”turvallinen” väline se on käyttäjälleen. On yhtä vaikeaa paikantaa ja neutraloida lennokin lennättäjää, oli lennokkia käytetty sitten salakuljetukseen tai suoraan iskuun.

2.1.6. Tapaus Reswan Ferdaus

Syyskuussa 2011 FBI (Federal Bureau of Investigations) otti kiinni Reswan Ferdaus nimisen miehen epäiltynä terrorismirikoksista. Hänet tuomittiin 17 vuodeksi vankeuteen vuonna 2012. Tuomio tuli yrityksestä toimittaa terroristeille matkapuhelimista modifioituja sytyttimiä ja suunnitelmasta iskeä Yhdysvalloissa olevia kohteita, kuten Pentagonia ja United States Capitolia vastaan. Suunnitelma sisälsi kolmella lennokilla toteutettavat iskut. Ferdaus ehti saada haltuunsa yhden lennokin ennen kiinni jäämistään. Lennokiksi suunniteltuun iskuun Ferdaus oli valinnut vajaan metrin mittaisen F-86 Sabre suihkuhävittäjää esittävän radio-ohjattavan lennokin, jonka sisään oli aikomus asentaa 2,5kg C-4 muoviräjähdettä. Lennokit oli tarkoitus ohjata maaleihinsa käyttäen sisäänrakennettua GPS-ohjausta. Lennokki-iskujen lisäksi Ferdaus oli aikeissa suorittaa myös maahyökkäyksen, jossa olisi käyttänyt käsikranaatteja, räjähteitä sekä automattiaseita. [49, 50 s. 113-115]

”Kauko-ohjattavan lennokin tyyppi, jota Ferdaus suunnitteli käyttävänsä, on ollut markkinoilla jo vuosikymmeniä, kuitenkin ei ole julkisesti tiedossa, että niitä olisi aikaisemmin yritetty käyttää terroristisessa tarkoituksessa [50 s. 114].” Siinä missä multikopteri pyrkii pitämään itsensä paikoillaan, kun sitä ei ohjata, joutuu kiinteäsiipinen lennokki liikkumaan jatkuvasti eteenpäin pysyäkseen ilmassa. Kiinteäsiipinen lennokki kykenee tyypillisesti kuitenkin siirtämään suuremman hyötykuorman suuremmalla nopeudella. Uusimmat autopilotit kykenevät ohjaamaan myös kiinteäsiipistä lennokkia autonomisesti. Esimerkiksi vapaan lähdekoodin autopilottiohjelma ArduPilot sanoo olevansa ”ainoa autopilottiohjelmisto, joka kykenee kontrolloimaan lähes mitä tahansa kuviteltavissa olevaa kulkuvälinettä, lähtien tavanomaisista lentokoneista, multikoptereista ja helikoptereista veneisiin ja jopa sukellusveneisiin” [51].

2.1.7. Tapaus Aum shinrikyo

Japanilainen Aum shinrikyo, suomeksi ”Korkein totuus” on vuonna 1984 Shōkō Asaharan perustama tuomionpäivänkultti. Se tuli tunnetuksi kansainvälisesti Tokion metroon tekemästään sariini-iskusta vuonna 1995. [52]

Tämän tutkimuksen kannalta olennaista on kuitenkin se, että Aum shinrikyo suunnitteli ja valmistautui käyttämään kaupallisia minilennokkeja kemiallisen aseiden levitysjärjestelmänä jo 1990-luvun puolivälissä. Aum shinrikyo hankki käyttöönsä kaksi kauko-ohjattavaa helikopteria, joita oli ilmeisesti tarkoitus käyttää kilpailevan uskonnollisen ryhmittymän johtajan salamurhaan. Helikopterit olivat malliltaan sellaisia, joita käytetään maataloudessa torjunta-aineiden ja vastaavien aerosolien levitykseen. [53, 54 s. 345] Kauko-ohjattavien helikoptereiden kauppiaan kysyessä olisivatko kopteria ostamassa olleet kultin jäsenet mahdollisesti kiinnostuneita ostamaan myös lisävarusteena olevan ruiskutustankkijärjestelmän, olivat nämä vastanneet ”ei kiitos, meillä on jo oma”. [55] Aum shinrikyo suoritti koptereilla kokeita vuosina 1993-1994 ja harkitsi niiden käyttöä lavettina sariinille soveltuvalle levitysjärjestelmälle. Suunnitelma epäonnistui kauko-ohjattavien helikoptereiden vahingoituttua koekäytössä. [54 s. 345]

Nykyaikaiset multikopterit ovat huomattavasti kehittyneempiä ja helpommin lennätettäviä kuin 1990-luvun alun kauko-ohjattavat helikopterit. Esimerkiksi DJI:n maatalouskäyttöön tarkoitettu multikopteri AGRAS T16 kykenee kuljettamaan jopa 16 litraa nestemäistä lastia, kuten torjunta-aineita tai lannoitteita sekä levittämään sen tehokkaasti aerosolina nopeimmillaan jopa alle kolmessa ja puolessa minuutissa. Testeissä yhdellä AGRAS T16 lennokilla on kyetty suihkuttamaan 10 hehtaaria tunnissa. Testissä aine ruiskutettiin kahden metrin korkeudelta ja 6,5m leveällä keilalla lennokin lentäessä nopeudella 6m/s. AGRAS T16 kykenee lentämään autonomisesti ennalta suunniteltuja reittejä pitkin, manuaalisesti kauko-ohjattuna tai edellisten yhdistelmätilassa, jossa se toteuttaa ennalta määritellyn manööverin yhdellä komennolla kesken lennon. Maksimilentokorkeus on 2000m merenpinnan yläpuolella ja maksiminopeus on 10m/s. AGRAS T16 sisältää tutkan, jolla se pystyy välttämään esteitä ja pitämään ennalta määritellyn etäisyyden maasta myös sellaisella alueella, jossa on suuria korkeuseroja. [56, 57]

AGRAS T16 maksaa tällä hetkellä Yhdysvalloissa kuluttajalle 21 499\$ [58] ja sen edeltäjä AGRAS MG-1S 14 999\$ [59] Merkittävimpinä eroina tämän tutkimuksen näkökulmasta uusimman T16 ja vanhemman MG-1S:n välillä ovat hinnan lisäksi hyötykuorma, lento- ja ruiskutusnopeus. MG-1S hyötykuorma on vain 10 litraa eli 6 litraa T16 pienempi. MG-1S lentonopeus on 15m/s ja ruiskutusnopeus 2,4l/min verrattuna T16 lentonopeuteen 10m/s ruiskutusnopeuteen 4,8l/min. [56, 60]

Kemiallisten aseiden teho suhteessa tilavuuteen on huomattavasti torjunta-aineita suurempi. Pahimmillaan katettava pinta-ala on siis paljon suurempi kuin valmistajan ilmoittamat luvut lannoitteelle tai torjunta-aineelle. Esimerkiksi sariinin tapauksessa tappava annos ihmiselle on vain 0,5 milligrammaa [61]. Teoreettisesti siis 16 kiloa sariinia riittäisi siis 32 miljoonan ihmisen tappamiseen. Vaikka luku ei kuvaa realistisesti lennokista suihkutetun sariinin tehoa, antaa se kuitenkin jonkinlaisen mittakaavan sille, miten tuhoisa lennokista levitetty kemiallisia aseita hyödyntävä isku voisi olla.

2.1.8. Tapaus Daesh

Daesh eli ISIS [62] on käyttänyt Irakin alueella useiden vuosien ajan pieniä kaupallisia lennokkeja. Lennokkeja on käytetty sekä tiedusteluun että lavetteina asekuormalle. [63]

Daesh käytti kaupallisia harrastelennokkeja asekuorman kuljettamiseen lukuisia kertoja osana taisteluaan Pohjois-Irakin alueella. Iskut jakautuivat karkeasti kahteen tyyppiin. Ensimmäisessä kameralla varustettu lennokka lennettiin kohteeseen ja asekuorma pudotettiin kameralla saadun kuvan perusteella, kun lennokka oli suoraan kohteen yläpuolella. Tällaisessa iskussa tyypillinen asekuorma oli pienehkö muokattu sotilastuote kuten kivääri- tai käsikranaatti, joka räjähtää osuessaan maahan tuottaen ympärilleen sirpaleviuhkan. Toisessa tyyppissä asekuorma oli pysyvästi kiinni lennokissa ja koko lennokka lennettiin asekuormineen kohteeseen ja räjäytettiin. [7, 63, 64]

Yhdysvaltojen asevoimat torjuivat uhkaa elektronisilla vastatoimilla sekä vaikuttamalla kiineettisesti paljastuneisiin lennokkeihin. [63]

Kaupalliset minilennokit ovat helposti saatavilla oleva väline ei-valtiollisille toimijoille. Lennokkeja voidaan käyttää asekuorman toimittamiseen kohteeseen. Nykyaikaisen kaupallisen lennokin aseistaminen ei ole kovinkaan vaikeaa eivätkä lennokit ole kalliita [65].

Tutkimuksen rajausten puitteissa tämän kaltainen lennokka-isku olisi vakava uhka Puolustusvoimien henkilöstölle ja materiaalille, ja tällaiselta iskulta suojautuminen etenkin rauhan aikana on erittäin vaikeaa.

2.2. Yhteenveto tapauksista

Lennokkien määrän kasvaminen laillisessa käytössä on johtanut niiden määrän kasvamiseen myös pahantahtoisen vaikuttamisen välineinä ja nykyisin voidaan mielestäni todeta, että lennokin kantama pienehkö räjähdde on todellinen uhka kaikkialla maailmassa. Tämä on johtanut myös asenteiden ja tietoisuuden muuttumiseen aiheesta. Angela Merkel tuskin enää hymyilisi edessään leijuvalle lennokille, kun niitä tiedetään käytetyn pommi-iskuihin. Se, että Venezuelan presidentin puheen aikana käytössä on ollut häirintälähettimeä, kertoo uhan tunnustamisesta ja siihen valmistautumisesta.

Tapausten perusteella käytetyt lennokit ovat olleet joko valmiita tuotteita, tai rakenteeltaan niin yksinkertaisia, että aiheeseen perehtyvä maallikkokin pystyy niitä käyttämään. Lennokit ovat soveltuneet käyttöön aselavettina hyvin pienin muutoksin. Tutkimuksen perusteella on todennäköistä, että pieniä kaupallisia lennokkeja tullaan näkemään vielä tulevaisuudessakin aselavetteina terroristisessa tarkoituksessa. Nyt kaupallisten lennokkien heikko häirinnän kesko ja hyökkääjien pyrkimys korkean profiilin kohteisiin on vähentänyt onnistuneiden iskujen määrää. Kuitenkin, mikäli iskut olisi suunnattu sellaista kohdetta vastaan, joka tulisi yllätetyksi ja jota ei olisi suojattu, olisi lennokeilla ollut jo nyt hyvät edellytykset päästä vaikuttamaan kohteeseensa.

Lennokkien lennättäjiä ei ole tyypillisesti saatu kiinni. Kun mietitään puolustautumista lennokkiuhkaa vastaan, on ensiarvoisen tärkeää, että lennokin käyttäjä kyetään löytämään. Mikäli lennättäjä pääsee irtautumaan epäonnistuneen suorituksen jälkeen, voi hän aina yrittää uudelleen ja uudelleen, kunnes lopulta onnistuu. Mikäli lennättäjät kyetään tehokkaasti paikantamaan, lennokka-iskujen riskit lennättäjälle kasvavat, mikä saattaa vaikuttaa vihamielisten toimijoiden haluun käyttää niitä toimintansa välineenä.

2.3. Lennokkitekniiikan kehityssuunnat

Nykyaikainen lennokka perustuu useaan tekniseen innovaatioon. Seuraavat tekniset edistysaskeleet ovat mahdollistaneet halvan ja kuluttajan saatavissa olevan nykyaikaisen lennokin yleistymisen: kevyet lujat materiaalit, harjattomat sähkömoottorit, akkuteknologia, laskentateho, prosessorit, kontrollerit, digitalisaatio, kamera- ja sensoriteknologia, radioviestinnän kehitys, verkot, satelliittinavigointi, gimbaalit sekä massatuotanto. [64]

Multikoptereiden suorituskyky tulee kasvamaan tekniikan kehittyessä. Multikopteritekniikka rakentuu seuraavien tieteen ja tekniikan osa-alueiden varaan: Työntövoimaan liittyvä tekniikka, navigaatioon liittyvä tekniikka, interaktiivisuuteen liittyvä tekniikka, kommunikaatioon liittyvä tekniikka, siruihin liittyvä tekniikka, ohjelmistoihin liittyvä tekniikka sekä lennonjohdtoon liittyvä tekniikka [25 s. 365]. Uutta ja kehittyvää lennokkitekniikkaa ovat myös autonomia sekä parveilu. [64]

Multikopterin toimintaperiaate mahdollistaa yksinkertaisen rakenteen, mutta johtaa sekä lentoajan että hyötykuorman rajallisuuteen. [25 s. 3] Työntövoiman osalta odotettavissa olevat kehitysaskleet liittyvät energianlähteisiin. Ensinnäkin uudet akkuteknologiat mahdollistavat kevyemmät ja suurempikapasiteettiset akut, jotka vapauttavat lisää massaa hyötykuormalle tai pidentävät toiminta-aikaa. Tutkimuksen alla on useita uusia akkuratkaisuja, kuten ilma-alumiiniakku, grafeeniakku ja nanopisteakku, jotka voivat tulevaisuudessa olla käytössä myös lennokeissa. Uudet akkuratkaisut voivat moninkertaistaa multikoptereiden suorituskyvyn. Muita lennokkien näkökulmasta tärkeitä tutkimuksen aloja energianlähteisiin liittyen ovat hybriditeknologia ja langaton lataus. [25 s. 365]

Suoraan multikoptereihin liittyviä kehityssuuntia ovat leijunnassa olevan multikopterin virransyöttö kaapelilla maasta sekä polttomoottorin käyttö multikopterissa [25 s. 365]. Erityisesti maasta kaapelia pitkin virtansa saava multikopteri on mielenkiintoinen, sillä se mahdollistaa sensoreiden nostamisen korkealle helposti ja tällaisen ”maston” siirtäminen toiseen paikkaan on helppoa. Esimerkki kaapelilla maahan yhdistetystä multikopterista on Elistairin valmistama Orion -valvontalennokki [66]. Esimerkki polttoaineella toimivasta multikopterista on Puolustusvoimille maalilennokkeja valmistavan suomalaisen Avartekin valmistama bensiinikäyttöinen Avartek Boxer [67].

Navigointiteknologian kehityssuuntia, jotka voivat vaikuttaa multikoptereiden suorituskykyyn, ovat paikannusteknologian kehittyminen, uudet lennokkien esteenväistämisratkaisut sekä kohteenseuranta. Real-Time Kinematics (RTK) eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaaminen mahdollistaa senttimetriluokan paikannuksen [25 s. 366].

Reaaliaikainen kinemaattinen mittaaminen perustuu tunnetussa tarkassa sijainnissa olevaan maa-asemaan. Sekä maa-asema että paikkatiedon tarvitsija (tässä tapauksessa lennokki) suorittavat satelliittipaikannusta. Koska maa-aseman sijainti on tunnettu, saadaan vastaanotetun satelliittipaikannuksen ja todellisen sijainnin välisestä erotuksesta selville satelliittipaikannuksen virhe. Tieto kulloisestakin virheestä välitetään lennokille omalla signaalillaan ja lennokki tekee sen perusteella korjaukset saamaansa satelliittipaikannukseen. Tekniikan haasteena on, että maa-asema ja lennokki eivät saa olla liian kaukana toisistaan tarkkuuden säilyttämiseksi.

Maksimietäisyys on noin 10-20 kilometriä, joskin käyttämällä useampaa maa-asemaa tätä voidaan kiertää. Useampaa maa-asemaa käytettäessä valitaan korjauksen tekemiseen lähinnä lennokkia oleva maa-asema, ja näin pysytään maksimietäisyyden sisällä. [68] Tulevaisuudessa kaupungeissa voi olla hyvinkin kattavat maa-asemaverkot, joiden data on kuluttajan käytössä palveluna. Palvelu voi perustua joko kuukausimaksuun tai sisältyä jonkun valmistajan lennokkipakettiin.

Yksi uusi paikannusteknologian kehityssuunta on paikannusjärjestelmän rakentaminen sel-laiseksi, ettei se ole riippuvainen satelliittinavigoinnista. Jo nyt saatavilla oleva vaihtoehto satelliittinavigoinnin korvaajaksi tai sitä häiriötilanteissa täydentämään on inertianavigointi INS (Inertial Navigation System). [64] Inertianavigoinnissa laitteen sijainti saadaan mittamalla jatkuvasti kiihtyvyyksiä ja laskemalla niiden ja tunnetun lähtösijainnin avulla laitteen paikka. Inertianavigoinnille ominaista on, että sen tarkkuus heikkenee suhteessa aikaan. Kiihtyvyyksien mittaustuloksissa on aina väistämättä pieniä virheitä ja koska sijainti perustuu aina kaikkiin edellisiin mittauksiin, nämä mittausepä-tarkkuudet kumuloituvat. Tyypillisesti tätä ongelmaa kierretään päivittämällä säännöllisesti uusi tunnettu sijainti laitteelle esimerkiksi satelliittinavigaation avulla ja aloittamalla sen jälkeen inertianavigointi uudestaan tästä pisteestä. [69] Pienimmät INS yksiköt olisivat jo nyt käytettävissä minilennokeissa, ja ovat hintansa puolesta kuluttajan tavoitettavissa. Esimerkiksi Inertial Sense valmistaa vain kahden gramman painoista ja ulkomitoiltaan 15.6 x 12.5 x 6.3 mm olevaa inertianavigointielementtiä, jossa on myös GPS tuki. Sen kuluttajahinta valmistajalta on halvimmillaan 550\$. [70] Inertianavigointi suojaa lennokkia satelliittipaikannuksen häirinnältä tehokkaasti. Mikäli autonominen lennokka lentää vain inertianavigoinnin varassa, ei sitä voida pysäyttää häiritsemällä ohjaus- tai satelliittipaikannussignaalia.

Vaihtoehtona on myös rakentaa paikannusjärjestelmä tavanomaisten WiFi, TV ja kännykkäsignaalien ympärille. BAE Systems on kehittämässä tällaista teknologiaa sotilaalliseen käyttöön. Tekniikka sopii erityisen hyvin rakennetulle alueelle, jossa on erilaisia hyödynnettäviä signaaleja paljon. Merkittäväksi eduksi tekniikalle mainitaan sen voimakas häirinnänsieto ja jopa kyky käyttää häirintälähetettä edukseen. Etuna on myös toimivuus alueilla, jonne satelliittipaikannus ei yllä, esimerkiksi sisätiloissa. Tällä hetkellä paikannustarkkuudessa päästään muutaman metrin tarkkuuteen. [25 s. 366, 71] Vaikka teknologia onkin tällä hetkellä sotilaspuolella tutkittavana, on täysin mahdollista, että se tai samaan periaatteeseen perustuva paikannusteknologia leviää myös siviilipuolelle lähitulevaisuudessa. Vahva häirinnänsieto ja riippumattomuus satelliittisignaaleista tekee tällä navigointimenetelmällä liikkuvan lennokin torjunnasta elektronisen sodankäynnin keinoin hyvin haastavaa.

Esteenväistötekniikassa on kehitteillä lukuisia eri vaihtoehtoja. Syvyyskamera hahmottaa etäisyyksiä projisoimalla IR-laser ristikon kohteeseen ja laskee sen vääristymästä kuvassa etäisyyksiä. Ultraäänisensorit pystyvät havaitsemaan esteitä ja toimimaan osana esteenväistöjärjestelmää. Koneälyn avulla voidaan lennokin kameran kuvasta tunnistaa väistettäviä kohteita, esimerkiksi lentokoneita, jo kaukaa, jolloin lennokka voi aloittaa väistämisen ajoissa. Kahdella kameralla voidaan toteuttaa koneellinen stereonäkö, joka mahdollistaa etäisyyden laskemisen kuvien erosta. Myös tutkaa ja LIDAR:ia (light detection and ranging) odotetaan tulevaisuudessa lennokkien esteenväistöjärjestelmien osaksi. [25 s. 367] Mikäli lennokkien esteenväistötekniikka kehittyy riittävän korkealle tasolle, voi se aiheuttaa haasteita osalle kineettisiä torjuntajärjestelmiä. Tehokkaasti ympäristöään havainnoiva ja nopeisiin väistöliikkeisiin kykenevä lennokka saattaa kyetä väistämään törmäykseen pyrkivää torjuntalennokkia tai maasta tai ilmasta laukaistua verkkoa. Tiettyä kohdetta väistämään tähtäävä tekniikka saatetaan myös pystyä ohjelmoimaan kohteeseen hakeutuvaksi tekniikaksi, jolloin lennokka voi esimerkiksi lentokoneiden väistämisen sijaan pyrkiä osumaan niihin oman koneälynä toimesta.

Visuaalinen ja tutkaan perustuva kohteenseuranta on navigointiin liittyvä merkittävä kehitysuunta. Lennokka ohjelmoidaan seuraamaan tiettyä kohdetta pitäen sitä kameran näkökentän keskellä. Kohteen liikuessa lennokka seuraa sitä pyrkien pitämään kamerakulman jatkuvasti samana. [25 s. 367] Kohteenseurannan hyödyt ovat helposti ymmärrettäviä käytettäessä lennokkia kuvaamaan käyttäjänsä toimintaa esimerkiksi urheilussa tai muussa toiminnassa. Tämän tutkimuksen viitekehyksessä kohteenseuranta voidaan nähdä uhkana kahdesta eri näkökulmasta. Ensinnäkin tiedustelun näkökulmasta, jossa lennokka kykenee seuraamaan lennokista tietämättä kohdettaan autonomisesti. Toiseksi kineettisen uhan näkökulmasta, jossa kohteenseurantatoimintoa käytetään lennokin asejärjestelmän suuntaamiseen liikkuvaan kohteeseen.

Tulevaisuudessa lennokkeja kyetään ohjaamaan myös ilman erillistä ohjainta, esimerkiksi älykellon liikkeentunnistinten avulla, jolloin lennokkia voidaan ohjata erilaisilla eleillä ja liikkeillä [25 s. 367]. Lennokin ohjaaminen pelkillä eleillä ja liikkeillä voi mahdollistaa lennokin käyttämisen siten, että lennättäjän tunnistaminen visuaalisesti voi olla vaikeaa selkeän ohjaimen puuttumisen takia. Vaikka lennättäjä saataisiinkin suunnittua elektronisin menetelmin voi lennättäjä jäädä tunnistamatta väkijoukosta, eikä kukaan silminnäkijä ole havainnut lennättämistä.

Teknologian kehittymisen myötä langattoman tiedonsiirron kapasiteetti tulee nousemaan. Sekä tulevat 5G verkot, että WiFi teknologian kehitys mahdollistavat entistä tarkemman reaaliaikaisen kuvan lähettämisen lennokista maa-asemalle tai internetin pilvipalveluun [25 s. 368]. 5G verkkoja on jo rakennettu Suomeen ja ne ovat kuluttajalle kaupallisesti saatavilla. Esimerkiksi Elisan 5G verkko on käytössä jo yhdellätoista paikkakunnalla ja kattaa osia Helsingistä, Tampereesta, Turusta, Kouvolasta, Lahdesta ja Jyväskylästä. Elisa lupaa asiakkailleen yleisemmin pääsyä 5G verkkoon jo vuonna 2020. [72, 73] 5G yhteyden nopeus riittää lennokin ohjaamiseen internetyhteyden kautta. Tällöin lennokin lennättäjän ja lennokin ei tarvitse olla fyysisesti lähellä toisiaan, vaan itse lennättäjä voi olla missä tahansa riittävän nopean internetyhteyden päässä. Mikäli lennättäjä toimii verkon yli, voi tekijän selvittäminen ja kiinni saaminen olla erittäin hidas ja vaikea prosessi. Myös sensoridatan, kuten videon jakaminen suoraan verkkoon ilman, että se kulkee lennättäjän kautta, voi aiheuttaa lisää hankaluuksia viranomaisille. Esimerkiksi tiedustelutieto voi olla päätnyt jo vastapuolelle, vaikka lennättäjä saataisiin kiinni tai lennokka pysäytettyä.

Siruteknologian kehitys johtaa entistä tehokkaampiin ja pienempiin prosessoreihin, jotka mahdollistavat tulevaisuudessa entistä pidemmälle viedyn autonomian lennokeissa sekä sen, että lennokka kerää dataa kaikista sensoreistaan ja säätää sen mukaan omaa toimintaansa [25 s. 368]. Prosessoritehon lisääntymisen lisäksi käynnissä on lukuisia projekteja parempien multikoptereiden ohjelmistojen luomiseksi ja jossain määrin standardoimiseksi. Esimerkiksi Linux ja Ubuntu kehittävät omissa projekteissaan lennokkiohjelmistoja, joiden toivovat leviävän lennokkivalmistajien keskuudessa. [25 s. 369]

Yhdysvaltojen ilmailu- ja avaruushallintavirasto NASA (National Aeronautics and Space Administration) kehittää lennokeille omaa lennonjohdon järjestelmää. Lennonjohtojärjestelmä kertoisi lennokkien lennättäjille tietoa muista samalla alueella lentävistä lennokeista ja mahdollistaisi lennokkien määrän kasvun kaupunkien ilmatilassa turvallisesti. Erityisesti lennonjohtojärjestelmää tarvitaan, mikäli lennokkeja yritetään saada massamaisesti käyttöön esimerkiksi tavarantoimituksiin ilman näköyhteyden säilyttävää ohjaajaa. [25 s. 369, 74, 75] Kiinassa on käynnissä lennokkien lennonjohdon kehittämisohjelma [25 s. 369]. Autonomiassa on useita eri asteita ennakoon ohjelmoidusta toiminnasta itsenäisiä päätöksiä tekevään koneeseen. Tämän tutkimuksen piirissä autonomisella lennokilla tarkoitetaan lennokkia, joka ei tarvitse tehtävänsä toteuttamiseen lennättäjää lentoonlähdön jälkeen. Mikäli yritykset saavat lennättää lennokkeja ilman näköyhteydellä olevaa ohjaajaa, tulee lennokkien määrä ilmassa hyvin todennäköisesti kasvamaan, jolloin onnettomuuksien välttämiseksi toimiva lennonjohto on välttämätön. Suuri määrä autonomisesti liikkuvia lennokkeja todennäköisesti totuttaa ihmiset lennokkien jatkuvaan läsnäoloon, eikä tällä hetkellä epäilyttävänä pidettävään lennokkiin

välttämättä reagoida. Toisaalta mikäli lennonjohto kykenee tunnistamaan rekisteröimättömän lennokin ilmatilassa, voidaan vaarallisesta lennokista saada tehokas ennakkovaroitus. Mikäli lennokki taas naamioidaan tai rekisteröidään lennonjohdolle lailliseksi lennokiksi, voi se avata rikostutkintaan uusia mahdollisuuksia tekijän jäljittämiseksi.

Lennokkiparvella (drone swarm) tarkoitetaan joukkoa lennokkeja, jotka toimivat autonomisesti tekoälyn ohjaamina ja kommunikoivat jatkuvasti toistensa kanssa. Lennokkiparvi reagoi muuttuviin olosuhteisiin keskenään kommunikoivana joukkona, joka pyrkii toteuttamaan tehtävänsä muistuttaen yhtä organismia. Joukko samaan aikaan kohteeseen iskeviä lennokkeja ei siis välttämättä ole teknisesti parvi, vaan koordinoitu hyökkäys, jossa jokainen lennokki kuitenkin toimii itsenäisesti. Tapaus Khmeimim ei ollut esimerkki lennokkiparvesta vaan koodinoidusta hyökkäyksestä. [76, 77]

Teknisesti parveilevia lennokkeja ovat esimerkiksi Yhdysvaltain asevoimien kokeilemat Perdix lennokit, joilla toteutettiin jo 26.10.2016 koe, jossa ”103 Perdix lennokkia laukaistiin kolmesta F/A-18 Super Hornetista. Pienoislennokit demonstroivat kehittynyttä parveilukäytätymistä, kuten kollektiivista päätöksentekoa, mukautuvassa muodostelmassa lentämistä sekä itseparantuvuutta [78].” [77, 78] Vaikka kyseessä on sotilastuote, joka siis on tutkimuksen rajausten ulkopuolella, toimii Perdix-lennokkiparvi esimerkkinä teknologiasta.

Guinessin ennätysten kirjan mukaan tämänhetkinen maailmanennätys samaan aikaan lennätettyjen lennokkien määrässä on Intel Corporationin hallussa vuodelta 2018. Ennätyksessä oli 2066 lennokkia samaan aikaan ilmassa. Lennokkijoukkoa kontrolloi vain yksi tietokone. [79] Julkisissa lähteissä ei ole ollut mitään mikä viittaisi siihen, että lennokkien välillä tapahtuisi tiedonsiirtoa ja autonomisuutta, näin ollen kyseessä ei teknisesti ole parvi.

Todellinen lennokkiparvi asettaa torjuntajärjestelmälle haasteita, sillä se kykenee mahdollisesti reagoimaan torjuntajärjestelmään vähentäen sen vaikutusta ja jatkamaan tehtäväänsä tappiosta huolimatta. Toisaalta, mikäli lennokkiparven sisäisiä yhteyksiä kyetään häiritsemään, saattaa parvena päätöksiä tekevä lennokkijoukko kärsiä enemmän kuin joukko itsenäisiä lennokkeja, joilla ei välttämättä ole lainkaan viestiliikennettä. Toistaiseksi todellisia lennokkiparvia ei ole vielä yleisesti kuluttajien saatavilla.

2.4. Tekniikan kehittymisen vaikutus lennokkiuhkaan

On todennäköistä, että lennokkien määrä Suomen taivaalla tulee jatkamaan kasvuaan. Osan kasvusta selittää yksityisten ihmisten hankkimat harrastekäytössä olevat lennokit osan taas kaupalliset palvelut, jotka käyttävät lennokkeja. Esimerkiksi Wing toimittaa jo nyt Helsingissä lennokkien avulla ruokaa kotiinkuljetuksena [80]. Tekniikan kehitys tulee nostamaan lennokkien suorituskykyä. Tämä tulee johtamaan suurempiin hyötykuormiin ja pidempiin toiminta-aikoihin.

Ilman näköyhteyttä lennätettävät kaupalliset lennokit ovat jo toiminnassa Suomessa. [80] Kun markkinoille tulee uusia toimijoita, joudutaan Suomessa ratkomaan kysymyksiä lennonjohtotekniikasta. Miten eri yritysten käyttöön varataan ilmatilaa lennokkitoimintaan ja miten se vaikuttaa yksityisten toimijoiden mahdollisuuksiin lennättää omia lennokkejaan nousee todennäköisesti ratkaistavaksi kysymykseksi lähitulevaisuudessa. Tulevaisuudessa lennokkeja saatetaan voida lennättää lennokissa olevan internetyhteyden avulla, jolloin ohjaaja voi sijaita missä tahansa, kunhan hänellä on käytössään riittävän nopea internetyhteys. Myös autonomisesti toimivat lennokit ovat jo saatavilla ja tulevat yleistymään. Lennokkien häirinnänsieto tulee paranemaan eri teknologioiden yleistymisen myötä. Jo nyt häiritty lennokki siirtyy usein autonomiseen tilaan, jossa se joko laskeutuu tai palaa lähtöpaikkaansa. Tulevaisuudessa häiritty lennokki saattaa hyvinkin siirtyä autonomiseen tilaan ja pyrkiä jatkamaan tehtäväänsä ja väistämään häirintää. Lennokkien määrän kasvuun vaikuttaa parveiluteknologian kehittyminen. Mikäli lennokkiparvet yleistyvät, tulevat nekin nostamaan lennokkien määrää taivaalla.

Entistä monilukuisimmat, suorituskykyisemmät ja paremmin häirintää sietävät lennokit tulevat väistämättä kasvattamaan riskiä joko onnettomuuteen tai tahalliseen lennokkipohjaiseen iskuun. Tulevaisuuden kehityssuunnat lennokkien määrässä vaikeuttavat vaarallisten lennokkien erottelua vaarattomista. Esimerkiksi iskuun käytettävä lennokki voi ulkoisesti olla täysin identtinen Wingin ruokalähettilennokin kanssa tai jonkun kaupallisen toimijan lennokkeihin on lastattu suunnitellun lastin sijaan räjähteitä. Lennokkien kasvava autonomisuus vaikeuttaa niiden torjuntaa. Mikäli lennokki kykenee jatkamaan tehtäväänsä häirittyinä, se karsii pois monia torjuntakeinoja. Toisaalta kehitys lennonjohtotekniikassa saattaa antaa uusia keinoja tunnistaa vaarallisia kohteita jo ennen kuin ne ehtivät päästä tavoitteeseensa.

2.5. Lennokkien tyypillisiä parametreja

Tässä tutkimuksessa käsitellään kaupallisia minilennokkeja, jotka on johdannossa määritelty seuraavasti: ”Kaupallinen: Tässä työssä kaupallisella tarkoitan tavalliselle kuluttajalle joko valmiina tai rakennussarjana saatavaa tuotetta tai järjestelmää.” ja ”Minilennokki: Tässä työssä minilennokilla tarkoitetaan ihmisen kannettavissa olevaa lennokkia.” Näiden määritelmien sisälle jää kuitenkin hyvin erilaisia lennokkeja, joiden suorituskyyvyt poikkeavat toisistaan. Lukua 2.7 Skenaariot varten todettiin tarpeelliseksi jakaa tutkimuksen lennokit neljään tyyppiin. Tyypit ovat: Pieni multikopteri, iso multikopteri, pieni kiinteäsiipinen lennokki, iso kiinteäsiipinen lennokki. Kunkin tyyppin kohdalla on luotu geneerinen esimerkkilennokki, jota käytetään skenaarioiden havainnollistamiseen. Esimerkkilennokille on kirjattu parametrit, jotka edustavat alaryhmään kuuluvien laadukkaiden lennokkien tyypillisiä ominaisuuksia. Kaikissa kategorioissa on saatavilla myös selkeästi heikommilla ominaisuuksilla varustettuja lennokkeja. Huomattavaa on, että todellisen lennokin parametrit voivat poiketa alaryhmän kohdalla esitetyistä tyypillisistä arvoista myös ylöspäin. Tämä korostuu tiettyyn tarkoitukseen rakennetuissa lennokeissa, joissa jotakin ominaisuutta on kasvatettu muiden kustannuksella.

Pieni multikopteri on alle 50cm leveä ja painoltaan alle 1000 grammaa. Kategorian suurimmat laitevalmistajat ovat DJI ja Parrot [81]. Arvot perustuvat lennokkeihin Mavic 2 [82] sekä Parrot Bebop 2 [83]. Koska valmistajien ilmoittamista tiedoista ei löytynyt tietoa ulkoisen hyötykuorman koosta, perustuu arvio ulkoisen hyötykuorman koosta lukuihin 2.2.5 Tapaus salakuljetus ja 2.2.8 Tapaus Daesh. Esimerkkilennokin huippunopeus on 16-20m/s ja se kykenee kuljettamaan alle 300g hyötykuorman. Sen etäohjaus tapahtuu taajuusalueella Wi-Fi 802.11a/b/g/n/ac, 2.400 - 2.483 GHz tai 5.725 - 5.850 GHz. Se pystyy paikantamaan itsensä hyödyntäen sekä GPS että GLONASS signaalia. Lentäessään matalalla, lennokki määrittää korkeutensa mittaamalla etäisyyttä maasta. Tämä mahdollistaa tarkan korkeuden pitämisen suhteessa maanpintaan. Esimerkkilennokissa on kehittynyt esteenväistötekniikka, joka perustuu sekä kameroihin että etäisyysmittareihin. Sen toiminta-aika on yhdellä akulla noin 30 minuuttia. Esimerkkilennokki pystyy toteuttamaan tehtäviä autonomisesti perustuen sekä satelliittipaikannukseen, että ympäristön tarkkailuun lennokin sensoreilla. Lennokissa on kiinteästi asennettuna hyvälaatuinen kamera. [82, 83]

Iso multikopteri on yli 50cm leveä ja painaa yli 1000g, mutta on tutkimuksen rajausten mukaisesti yhden henkilön kannettavissa, eli noin 50kg. Merkittävistä lennokkivalmistajista [81] kolme antaa verkkosivuillaan riittävät tiedot tämän tyyppin lennokeista, jotta ne voidaan hyväksyä suoritusarvojen pohjaksi. Nämä yritykset ovat DJI, Freefly ja ActionDrone USA. Arvojen pohjaksi valittiin kultakin lennokkivalmistajalta ne tuotteet jotka parhaiten edustavat tätä tyyppiä. Valitut lennokit ovat: Freeflyn Alta Pro [84], DJI:n maatalouslennokki AGRAS T16 [85] ja kuvauslennokki Matrice 600 Pro [86] sekä ActionDrone USA:n valmistama UAS: AD-H [87]. Esimerkkilennokin huippunopeus on 10-18/s ja se kykenee kuljettamaan 6-16kg hyötykuorman. Sen signaaliliikenne tapahtuu taajuusalueella 868 - 928 MHz, Wi-Fi 802.11a/b/g/n/ac, 2.400 - 2.483 GHz tai 5.725 - 5.850 GHz. Se pystyy paikantamaan itsensä hyödyntäen Galileo, GPS, BeiDou ja GLONASS signaalia. Se kykenee hyödyntämään myös RTK mittausta. Lentäessään matalalla lennokki määrittää korkeutensa mittaamalla etäisyyttä maasta. Tämä mahdollistaa tarkan korkeuden pitämisen suhteessa maanpintaan. Esimerkkilennokissa on kehittynyt esteenväistötekniikka, joka perustuu kameroihin, etäisyysmittareihin ja tutkaan. Sen toiminta-aika on lastista riippuen 10-50 minuuttia. Esimerkkilennokki pystyy toteuttamaan tehtäviä autonomisesti perustuen sekä satelliittipaikannukseen että ympäristön tarkkailuun lennokin sensoreilla.

Pieni kiinteäsiipinen lennokki on siipien kärkiväliltään alle 2 metriä ja painoltaan alle 5kg. Tähän tyyppiin kuuluu hyvin erilaisia lennokkeja perinteisistä polttomootorikäyttöisistä radio-ohjattavista lentokoneista halpoihin sähkökäyttöisiin aloittelijalennokkeihin. Nykyisin on myös saatavilla autonomiseen toimintaan kykeneviä kiinteäsiipisiä lennokkeja maatalouden ja kartoituksen tarpeisiin. Esimerkkilennokki kuvaa perinteistä ohjattavaa lennokkia, joka on suunniteltu harrastekäyttöön. Ammattikäyttöön tehdyn pienen kiinteäsiipisen lennokin ominaisuudet vastaavat sensoreiltaan ja autonomialtaan edellä käsiteltyjä multikoptereita, mutta lento-ominaisuuksiltaan tässä kappaleessa kuvattua. Esimerkkilennokin voimanlähteenä on joko sähkö- tai polttomoottori. Harrastelennokkien erikoisliike Vertical Hobbyn omistaja Antti Lipastin mukaan harrastelennokeissa suurimmat nopeudet ja pisin toiminta-aika saavutetaan polttomoottorilla. Lennokkikäytössä tyypilliset polttomoottorit on suunniteltu toimimaan korkeilla kierrosluvuilla ja pienillä potkureilla. Tämä tarjoaa nopeutta, mutta ei kasvata lennokin hyötykuormaa. Lennokkikäyttöön tehtyt sähkömoottorit on suunniteltu polttomoottoreita pienemmille kierrosluvuille ja suuremmille potkureille. Sähkömoottorillisten harrastelennokkien matkalento-ominaisuudet ovat paremmat, kuin polttomoottorillisten, mutta nopeudet jäävät pienemmiksi. Kummankin moottorin tapauksessa tavanomaisen harrastelennokin voidaan odottaa kykenevän lentämään sellaisen hyötykuorman kanssa, joka on puolet lennokin omasta painosta. [88] Pienen kiinteäsiipisen lennokin tapauksessa hyötykuorma on siis arviol-

ta kolmannes koko painosta eli noin 1,7kg. Kilpalennokin huippunopeus vaihtelee välillä 50-90m/s [89].

Iso kiinteäsiipinen lennokka on siipien kärkiväliltään alle 5 metriä ja painoltaan yli 5kg, mutta on tutkimuksen rajausten mukaisesti yhden henkilön kannettavissa, eli noin 50kg. Tässä koluokassa on mahdollista käyttää erittäin tehokkaita moottoreita ja lennokit ovat todennäköisesti tiettyä tarkoitusta varten rakennettuja. Esimerkkilennokin ominaisuudet ovat todennäköisesti lähellä pientä kiinteäsiipistä lennokkia, mutta suurempi koko ja moottoriteho mahdollistavat paljon suuremman hyötykuorman. Hyötykuorman kokoa rajaa lähinnä tutkielman rajauksen vaatimus, ei tekniikka. Esimerkkinä tästä tyypistä voidaan käyttää Tapaus Khmeimin lennokkeja.

	Pieni multikopteri	Iso multikopteri	Pieni kiinteäsiipinen	Iso kiinteäsiipinen
Paino	alle 1000g	1-50kg	alle 5kg	alle 50kg
Leveys	alle 50cm	yli 50cm	alle 2m	alle 5m
Suurin hyötykuorma	alle 300g	6-16kg	n.1,7kg	Riippuu rakenteesta
Suurin nopeus	16-20m/s	10-18m/s	50-90m/s	Riippuu rakenteesta
Ohjaustaajuudet	WiFi, 2.4GHz, 5.8GHz	WiFi, 2.4GHz, 5.8GHz	WiFi, 2.4GHz, 5.8GHz	WiFi, 2.4GHz, 5.8GHz
Paikannus	GPS, GLONASS	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, RTK	nil	Riippuu rakenteesta

Taulukko 1: Esimerkkilennokkien tärkeimmät tiedot

2.6.Skenaariot

Ilmasta tuleva uhka on turvallisuusviranomaisille uusi. ”Erilaisia massatapahtumia suojataan tänä päivänä mm ajoesteillä, turvatarkastuksilla ja kameravalvonnalla. Niiden avulla on Euroopassa viime vuosina estetty iskuja tai ainakin lievennetty niiden vaikutuksia. Nämä toimet voivat ohjata tulevia tekijöitä käyttämään lähestymispolkuna edellä mainitut suojaukset kiertävää ilmatietä [90]”. Koska perinteiset torjuntakeinot eivät pysäytä ilmassa nopeasti lentävää lennokkia ja nykyiset korkean teknologian torjuntajärjestelmät ovat erittäin kalliita verrattuna betoniporsaisiin ja aitoihin, vaatii lennokkipohjaisten iskujen torjunta panostuksia sekä laitteistoon että taktiikkaan.

Tähän lukuun on kerätty asiantuntijahaastatteluin joukko skenaarioita. Jokainen skenaario kuvaa esimerkinomaisesti uhkatyyppin. Haastatteluissa esille tulleita skenaarioita on tarvittaessa yhdistetty niin, että jokainen skenaario on erilainen. Skenaario 1 on esimerkki pommi-iskusta väkijoukkoon. Skenaario 2 on esimerkki tilanteesta, jossa miehitetty ja miehittämätön ilma-alus törmäävät. Skenaario 3 on esimerkki lennokkien käyttämisestä tavanomaisen rikollisuuden välineenä. Skenaario 4 on esimerkki lennokkipohjaisesta kemiallisen aseiden käytöstä yleisötilaisuuteen. Skenaario 5 on esimerkki lennokin käyttämisestä lavettina elektronisen sodankäynnin järjestelmälle, erityisesti matkapuhelinverkon valetukiasemalle. Skenaario 6 on

esimerkki lennokin käytöstä tiedusteluun. Skenaario 7 on esimerkki lennokin käyttämisestä kevyen tuliaseen lavettina osana joukkoampumista.

Jokaisesta skenaariosta on kirjoitettu jatkotutkimuksia ajatellen havainnollistava esimerkki. Esimerkkiin on liitetty selkeyttävä kuva skenaarion olosuhteista. Havainnollistavien esimerkkien tarkoituksena on mahdollistaa skenaarioiden simulointi osana jatkotutkimusta sekä antaa vaatimusmäärittelyyn numeraalisia arvoja.

2.7. Skenaario 1: Pommi-isku

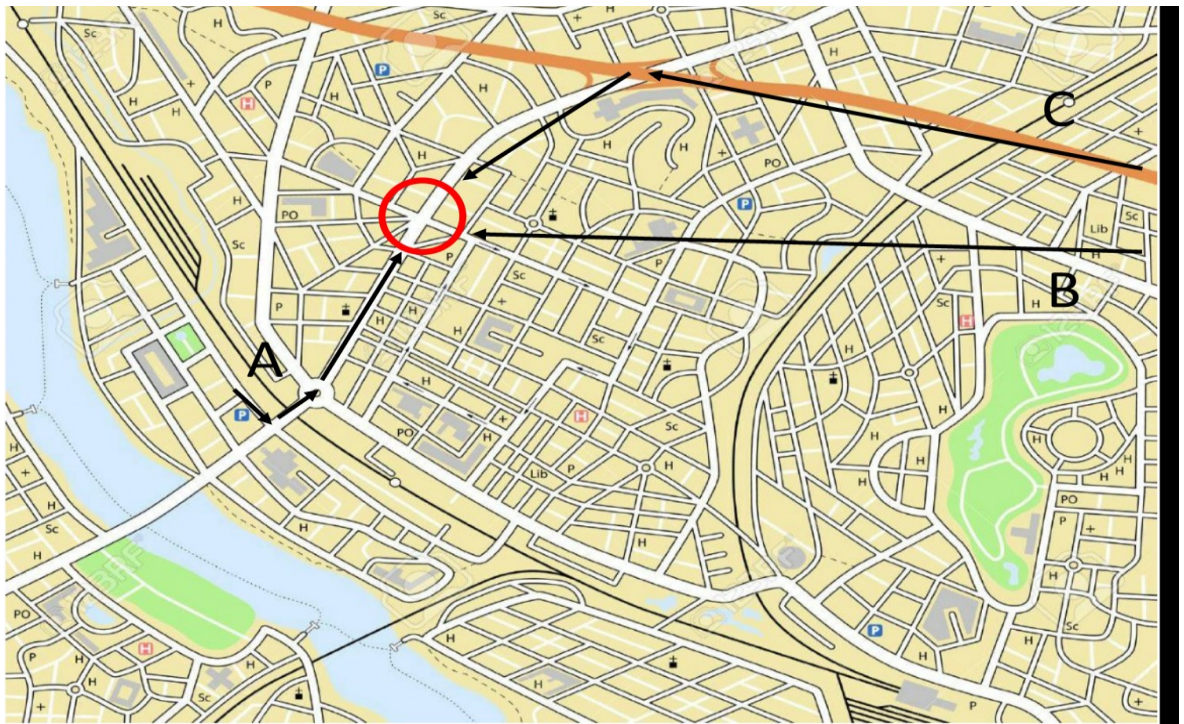
”Suomessa on käynnissä itsenäisyyspäivän viettäminen. Helsingissä järjestetään kaksi kilpailuvaa mielenosoitusta sekä useita kulkueita 6.12. aikana. Poliisi on sulkenut kantakaupungin ilmatilan päivän ajaksi. Poliisin omia miehittämättömiä aluksia on ilmassa tilannekuvan luomista varten. Väkijoukkojen kertyessä Senaatintorille klo 19:00 jälkeen havaitaan Itä-Helsingistä päin lähestyvän kahden suurikokoisen miehittämättömän kopterin, jotka päästyään Senaatintorin päälle räjäyttävät ulkoisen kuormansa levittäen rautakuulia ja metallisiruja väkijoukkoon. Useita kuolonuhreja sekä loukkaantuneita runsaasti. Rikosnimikkeenä terroristisessa tarkoituksessa tehty rikos.” [91] ”Itsemurhapommittajasta poiketen lähimpänä räjähdettä olevat ihmiset eivät suojaa vartaloillaan kauempana olevia sirpalevaikutukselta, vaan viuhka aiheuttaa suuren määrän pää- ja ylätorso-osumia [90].” Räjähdys johtaa paniikkiin, mikä aiheuttaa lisätappioita [90].

Merkittävänä erona maateitse kuljetettavaan pommi-iskuun on lennokin kyky läpäistä suurin osa nykyisistä torjuntakeinoista. Lennokki ei pysähdy ajoesteeseen tai aitaan. Myös lennokin huomattavan suuri nopeus haastaa vastatoimet. Vaikka lennokki havaittaisiinkin se saattaa ehtiä siirtyä toiminta-alueelleen ennen kuin siihen ehditään reagoida. Merkittävää on myös, että lennokin lennättäjän kiinnisaaminen jälkeinpäin voi osoittautua äärimmäisen vaikeaksi, kuten Gatwickin tapaus osoitti.

Havainnollistava esimerkki skenaariosta 1

Kohteena toimii mielenosoitus, jossa on n. 5000 osallistujaa. Lennokkina hyökkäyksessä voidaan käyttää tyyppejä ”iso multikopteri”, ”pieni kiinteäsiipinen lennokki” tai ”iso kiinteäsiipinen lennokki”. Esimerkki on kuitenkin kirjoitettu tyyppin ”iso multikopteri” näkökulmasta. Lennokkeja on kaksi ja kummallakin on ulkoisena kuormanaan kevyttä viuhkapanosta vastaava räjähdde. Lennokit lähestyvät kohdetta reittiä A, B tai C. Reitti A lähtee mielenosoituksen läheltä ja kulkee katuja pitkin n. 50 metrin korkeudessa koko matkan. Reitin A tapaukses-

sa lennokit ovat kauko-ohjattuja ja lennättäjillä on näköyhteys kohteeseen. Lennättäjät tekevät päätöksen asekuormien käyttöhetkestä. Reitti B lähestyy suoraan idästä, lähtöpaikan ollessa useiden kilometrien päästä kohteesta. Lennokit kulkevat koko matkan korkealla pysyen kuitenkin sallitussa alle 150m korkeudessa välttääkseen herättämästä huomiota [92], reitillä B lennokit toimivat autonomisesti seuraten ennakkoon ohjelmoitua reittiä. Asekuorma laukeaa lennokkien saavutettua määrätyn sijainnin. Reitti C tulee ydinkaupungin ulkopuolelta. Lennokit lentävät erittäin korkealla noin 500 metriä maanpinnasta välttääkseen tulemasta visuaalisesti havaituksi. Lennokkeja ohjataan lennokkien kameroiden perusteella seuraten maamerkkejä, kuten pääväyliä, vesistöjä ja puistoja. Lennättäjät tekevät päätöksen asekuorman käyttöhetkestä. Päästyään mielenosoituksen kohdalle, lennokit siirtyvät n. 50 metriä väkijoukon yläpuolelle, mikä on viuhkapanoksen tehokas vaikutusetaisyys [93 s. 68]. Lennokkien välinen etäisyys toisistaan on yli 50. metriä vaikutusalueen maksimoimiseksi. Lennokkien päästyä tavoittelemaansa asemaan ne räjäyttävät kuormansa ja tuhoutuvat. Lennokkien asekuormasta johtuen, lennokit on torjuttava ennen niiden pääsyä kohteen yläpuolelle. Torjuntakeinon ei tulisi laukaista räjähdekuormaa. Reitit ja alueen kartta näkyvät alla olevassa havainnekuvassa.



Kuva 1: Havainnollistava esimerkki skenaarista 1

2.8.Skenaario 2: Lento-onnettomuus

”Poliisilla on käynnissä pitkäkestoinen etsintäoperaatio Vantaalla teiden E12, tien 45 ja tien E18 kolmiossa. Etsittävinä kaksi käsiaseilla aseistautunutta henkilöä, jotka syyllistyneet kahden tappoon. Etsintään osallistuu Rajavartiolaitoksen meripelastushelikopteri. Etsinnän aikana ilmatilaan ilmestyy kansalaisen ohjaama minikopteri sekä kaupallisen televisioyhtiön minikopteri, jotka aiheuttavat rajavartiolaitoksen helikopterille vaaratilanteen toisen minikopterin osuessa pääroottorin lapaan. Helikopteri joutuu tekemään hätälaskun Paloheinän Golfkentälle kuitenkin ilman isompia vaurioita. [91]”

Tämä skenaario muistuttaa Gatwickin kentän tapausta. Miehitetty ja miehittämätön ilma-alus samassa ilmatilassa muodostavat merkittävän vaaran miehitetylle alukselle. Gatwickin tapauksessa riski ei toteutunut, mutta haittavaikutus oli massiivinen, tässä skenaariossa taas riski toteutui. Suurena erona on se, että skenaarion tapauksessa Rajavartiolaitoksen helikopteri toimi alueella, jossa lennokkeja voidaan luvallisesti lennättää ja kumpikin miehittämättömistä lennokeista saattoi hyvinkin toimia sinänsä laillisesti. Tässä tapauksessa viranomaisten toimivaltuuksilla on suuri vaikutus, sillä kaikkia alueella toimivia lennokkeja ei välttämättä voida pudottaa. Viranomaiset tarvitsisivat kyvyn sulkea ilmatilan nopeasti kaikelta muulta ilmailulta sekä kyvyn saattaa tieto sulkemisesta nopeasti potentiaalisille lennokkien lennättäjille.

Havainnollistava esimerkki skenaariosta 2

Viranomaisten operaatio rakennetulla alueella herättää mielenkiintoa ja yksityiset kansalaiset, että uutispalvelut pyrkivät saamaan tilanteesta kuvamateriaalia. Esimerkissä on kuvaamiseen tarkoitettuja tyyppin ”pieni multikopteri” tai ”iso multikopteri” lennokkeja. Lennokkien ohjaajien huomio on kiinnittyneenä lennokkien välittämään videokuvaan maassa tapahtuvista asioista. Lennättäjät eivät ajoissa havaitse viranomaisten miehitetyn ilma-aluksen saapumista alueelle ja liikuttavat lennokkiaa varomattomasti. Miehitetty ilma-alus ei ehdi havaita pientä nopeasti liikkuvaa kohdetta ja törmäys tapahtuu. Multikopteri vahingoittuu osumasta ja putoaa. Miehitetty ilma-alus saa vaurioita ja tekee pakkolaskun. Viranomaisten toimintaan liittymättömät lennokit tulisi saada torjuttua operaation ilmatilasta ennen miehitetyn ilma-aluksen saapumista ja ne tulee kyetä pitämään poissa alueelta koko sen ajan, kun miehitetty ilma-alus on käytössä. Torjunnan tulisi ensisijaisesti olla voimankäytöltään pudottamista lievempää. Alla olevassa havainnekuvassa on merkitty viranomaisten operaation alue punaisella ympyrällä. Multikopterit on merkitty mustilla X symboleilla ja niiden reitti sinisillä nuolilla. Helikopterin reitti on merkitty mustilla nuolilla. Törmäyspaikka on merkitty mustalla O symbolilla ja pakkolaskun sijainti mustalla A kirjaimella.

noin 50 metrin korkeudessa. Toinen lennokeista lentää rikospaikan yläpuolella tiedustellen viranomaisten toimintaa ja avoimia pakoreittejä. Sitä lennätetään aktiivisesti ja se vaihtaa sijaintia ja korkeutta tilanteen mukaan. Tiedustelevalen lennokin reitti on havainnekuvassa merkitty sinisillä nuolilla. Kahta tyypin ”pieni multikopteri” lennokkia käytetään viranomaisten häirintään. Niitä lennätetään aktiivisesti lennokeissa olevien kameroiden perusteella erittäin matalalla. Näiden lennokkien reitit on merkitty havainnekuvaan punaisilla nuolilla. Maahansyöksen jälkeen lennokit hylätään. Lennokit tulisi saada torjuttua nopeasti viranomaisten omasuojan takia. Saalista kuljettavan lennokin paon estäminen olisi saaliin takaisin saamiseksi tärkeää. Pakenevaa lennokkia ei tulisi pysäyttää voimakeinoin, jotka tuhoavat lastin. Alla olevassa havainnekuvassa on merkitty rikospaikka punaisella ympyrällä. Häirintään käytettyjen lennokkien maahansyöksymispaikat on merkitty mustilla X symboleilla.



Kuva 3: Havainnollistava esimerkki skenaariosta 3

2.10. Skenaario 4: Kemikaali-isku

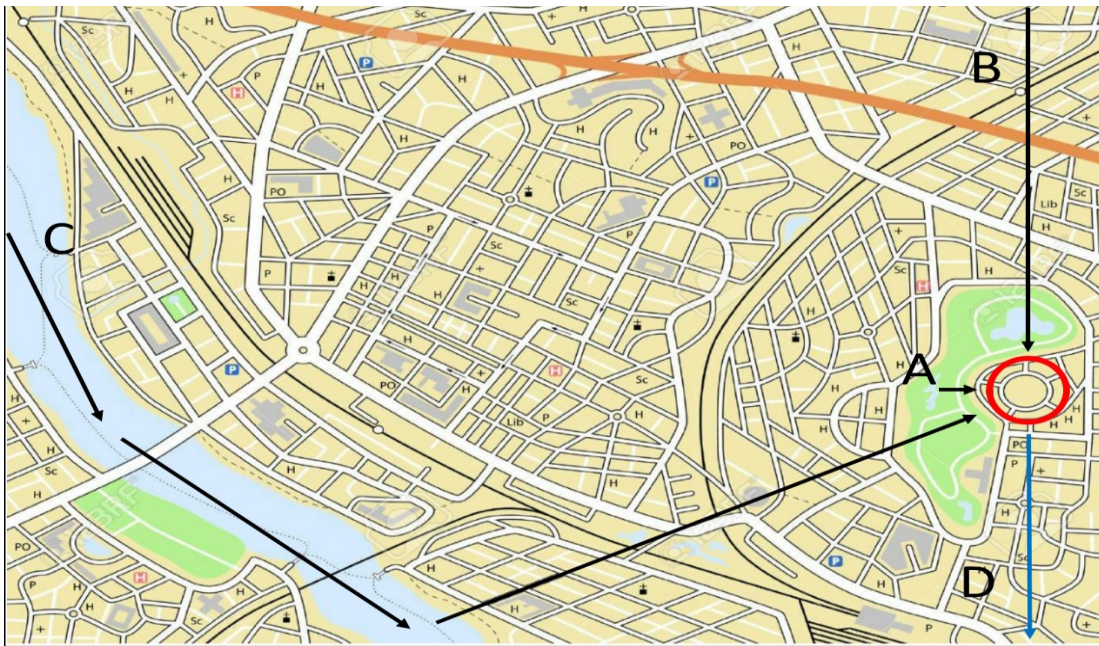
Rajattuun avoimessa tilassa tapahtuvaan yleisötilaisuuteen kuten konserttiin, urheilutapahtumaan, poliittiseen- tai uskonnolliseen kokoontumiseen kohdistettu isku kopterimallisella lennokilla. Kopteri kiertää suurella nopeudella ilmateitse tapahtumaa suojaavat ajoesteet ja turvatarkastukset päästen tavoitteeseensa, jossa hidastaa nopeuttaan iskun ajaksi. Iskun jälkeen lennokka joko pakenee paikalta tai syöksyy väkijoukkoon. Hyötykuormana iskussa on kyytelkaasua tai muuta ärsyttävää kemikaalia, joka on helposti havaittavissa sekä oireiden perusteella että visuaalisesti. Lennokkiin on myös kiinnitetty näkyvästi hengenvaarallisesta kemikaalista kertovat varoituskyltit. Samanaikaisesti iskun kanssa toteutetaan monikanavaista vaikuttamista sosiaalisessa mediassa, jossa levitetään huhuja vaarallisesta kemikaalista esimerkiksi otsikolla ”Hermokaasuisku stadionilla!”. Iskun vaikutuspiirissä oleva ”peruskansalainen ei pysty arvioimaan uhan todellisuutta, vaan toimii tunteella ja osana väkijoukkoa. Vahinko-

mekanismina on syntyvä paniikki suoran fyysisen vaikuttamisen sijasta. Paniikki yleisötapah-
tumisissa voi surmata kymmeniä ihmisiä kerralla.” [90, 94]

Erityisen vaarallisen tästä skenaariosta tekee se, että siihen tarvittavat materiaalit ovat äärim-
mäisen helposti saatavilla. Sekä lennokit, että ärsyttävät kemikaalit saattavat olla täysin lupa-
vapaita ja yleisesti myynnissä. Tämä skenaario voi myös toteutua vahingossa, mikäli sinänsä
harmitonta lennokkia luullaan vaaralliseksi, mikä aiheuttaa pakokauhun. Pahimmillaan kemi-
kaali on myös oikeasti hengenvaarallista, kuten Aum shinrikyon tapauksessa, jolloin vahin-
komekanismina on paniikin lisäksi myös itse kemikaali.

Havainnollistava esimerkki skenaariosta 4.

Kohteena toimii urheilustadion, jonne mahtuu n. 35 000 katsojaa. Käynnissä on urheilukilpai-
lut ja stadion on lähes täynnä. Lennokkina hyökkäyksessä käytetään tyyppin ”iso multikopteri”
mukaista kaupallista torjunta-aineiden levitykseen tarkoitettua lennokkia. Lennokissa on nes-
tesäiliö, jonka tilavuus on 5-20 litraa. Hyökkäyksessä käytettävänä kemikaalina on myrkylli-
nen ja voimakkaasti ärsyttävä neste. Lennokki lähestyy kohdetta reittiä A, B tai C. Reitti A
lähtee stadionin läheiseltä ulkoilualueelta ja nousee korkeuteen, jolla ylittää stadionin reunan.
Reitti B lähestyy suoraan pohjoisesta, lähtöpaikan ollessa useiden kilometrien päästä stadio-
nista. Lennokki kulkee koko matkan korkealla pysyen kuitenkin sallitussa alle 150m korkeu-
dessa välttääkseen herättämästä huomiota [92]. Reitti C tulee vesistöä pitkin ja matalalla.
Korkeus vedenpinnasta on viiden ja kymmenen metrin välillä, jolloin todennäköisyys tör-
mäyksestä veneen tai laivan kanssa on pieni, mutta lennokki pysyttelee tutkavalvonnan ala-
puolella. Sillat lennokki alittaa. Päästyään maan päälle lennokki nostaa korkeuttaan ylittäääk-
seen esteet ja stadionin rakenteet. Päästyään stadionin luo, lennokki lentää voimakkaasti lii-
kehtien n. 5-15m yleisön yläpuolella suihkuttaen koko hyötykuormansa muutamassa minu-
tissa. Lennokki toimii autonomisesti seuraten ennakkoon ohjelmoitua reittiä ja määrittelee
sijaintinsa satelliittinavigoinnin avulla. Iskun jälkeen lennokki nousee talojen kattoja korke-
ammalle noin viiteenkymmeneen metriin maanpinnasta ja lentää suoraan etelään reittiä D,
kunnes laskeutuu suureen vesistöön. Lennokin hyötykuormasta johtuen, lennokki on torjutta-
va joko säiliötä rikkomatta tai sellaisessa kohdassa reittiä, että rikkoutuneesta säiliöstä vuota-
va myrkky ei aiheuta vaaraa. Reitit ja alueen kartta näkyvät alla olevassa havainnekuvassa.



Kuva 4: Havainnollistava esimerkki skenaarista 4

2.11. Skenaario 5: Valetukiasema

Pientä kaupallista lennokkia voidaan käyttää lavettina matkapuhelinten valetukiasemalle. Valetukiasema saadaan näin lennätettyä etukäteen valitulle alueelle, jonne vaikutus halutaan kohdentaa. [90] Matkapuhelinten ja matkapuhelinverkkojen ovat riittävän pieniä, että sellainen voi olla kaupallisen lennokin hyötykuormana. Valetukiasema esiintyy oikeana tukiasemana, ja matkapuhelinliikenne kulkee sen kautta. Valetukiaseman avulla pystytään selvittämään puhelimen tietoja, lukemaan tekstiviestejä ja kuuntelemaan puheluita. Valetukiasema voi salakuunnella liikennettä ja välittää sen eteenpäin alun perin tarkoitetulle vastaanottajalle. Toinen vaihtoehto on, että kaapattu liikenne välitetään toisen operaattorin verkkoon tai internetin VOIP (Voice Over Internet Protocol) palveluun. Näin toimittaessa käyttäjään ei voida saada enää normaalista verkosta yhteyttä. Valetukiasema voi saada selville onko seurattava laite tai sen käyttäjä vaikutusalueella. Tiedustelun kohteen ja hänen matkapuhelimensa yhdistäminen vaatii muita tiedustelumenetelmiä. [95 s. 76-78, 96, 97]

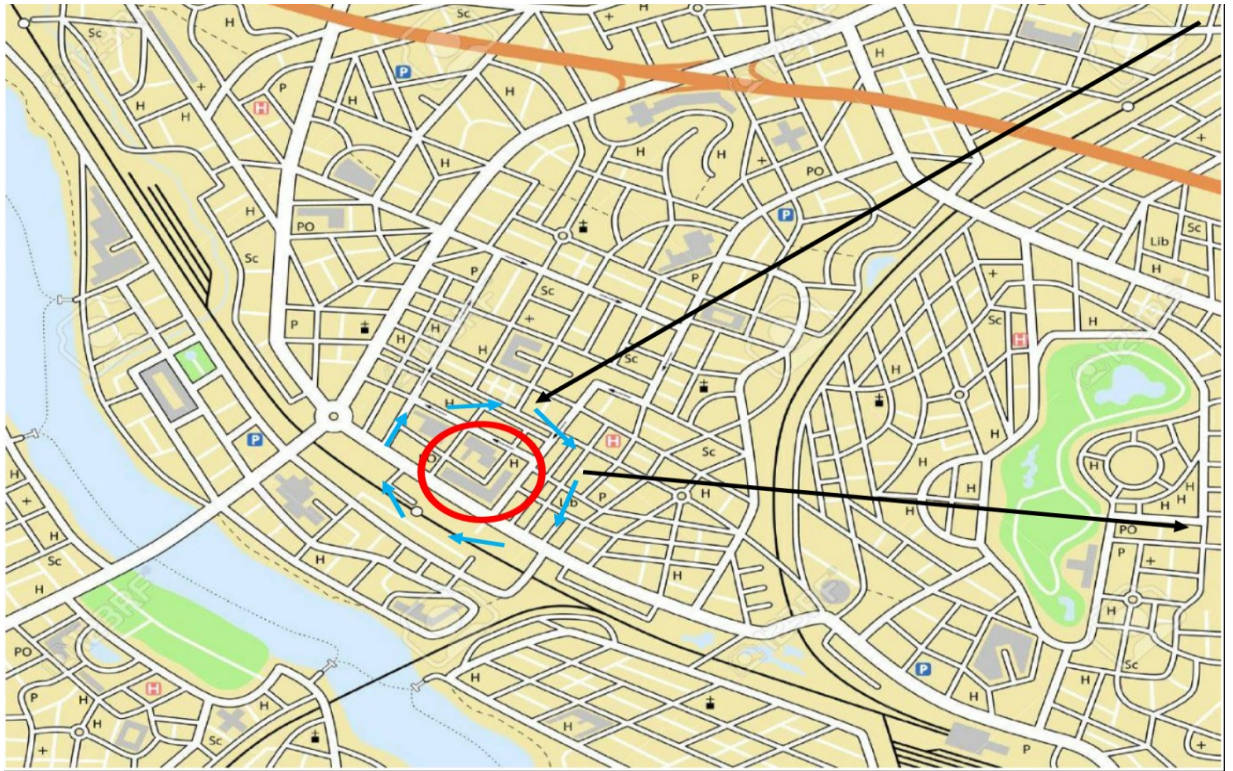
Valetukiaseman avulla voidaan yrittää urkkia tietoa esimerkiksi viranomaisten matkapuhelinliikenteestä tai jumittaa tietyltä alueelta matkapuhelinliikenne puhelinten ottaessa yhteyden tukiasemaan joka ei välitä puheluita eteenpäin. Valetukiaseman avulla voidaan myös levittää väärää tietoa tai propagandaa esimerkiksi massatekstiviestien muodossa. Valetukiasemalla voidaan näin myös tukea muita iskumenetelmiä, esimerkiksi estämällä hätäpuheluiden meneminen läpi tietyltä alueelta tai tehostamalla skenaarissa 4 kuvattua paniikkia harhauttavilla viesteillä. [97]

Venäjällä on käytössään lennökkialustaisia valetukiasemia, joita on harjoituksissa käytetty sekä tiedusteluun, että informaatiovaikuttamiseen [39, 97 s. 49-50]. Lennokkiin asennettujen valetukiasemien käytöstä on havaintoja esimerkiksi Ukrainan sodassa [98 s. 24]. Nämä järjestelmät ovat sotilastuotteita, eivätkä siten tämän tutkimuksen piirissä. Niiden perusteella voidaan kuitenkin tehdä johtopäätös, että lennökkialustaiset valetukiasemat ovat toimiva menetelmä. Kaupallista lennokkia voidaan käyttää valetukiaseman lavettina, jos sen hyötykuorma on riittävä. Itse valetukiasemien suorituskykyeroihin ei tässä tutkimuksessa oteta kantaa.

Lennokki voi toimia lavettina myös muille elektronisen sodankäynnin järjestelmille kuten esimerkiksi häirintälähettimille. Lennokin avulla häirintälähetin saadaan sijoitettua helposti halutulle toiminta-alueelle ja sillä voidaan vaikeuttaa sekä kansalaisten että viranomaisten langatonta datansiirtoa.

Havainnollistava esimerkki skenaariosta 5

Kansainvälinen tilanne on kiristynyt ja Suomi on aloittanut joukkojen perustamisen. Matkapuhelinten valetukiasema on asennettu tyyppin ”pieni kiinteäsiipinen lennokki” tai ”iso kiinteäsiipinen lennokki” hyötykuormaksi. Lennokki lennetään rakennetulla alueella olevan perustamiskeskuksen yläpuolelle ja se jää sinne kiertämään kehää. Valetukiasema kerää tietoa alueelle tulevista ja sieltä poistuvista matkapuhelimista. Tiedot välitetään lennokista suoraan 5G yhteyden kautta internetpalvelimelle. Lennokki on naamioitu erottumaan taivasta vasten mahdollisimman huonosti. Se lentää niin korkealla, ettei sen ääni kuulu maahan ja että sen huomaaminen visuaalisesti on erittäin vaikeaa. Esimerkissä korkeus on 300-500 metriä maanpinnasta. Esimerkkilennokki on erikseen varustettu pitkäkestoista operaatiota varten poikkeuksellisen suurella polttoainesäiliöllä tai akulla. Lennokki tulisi torjua nopeasti sen saavuttua alueelle tiedustelun keskeyttämiseksi. Lennokki tulisi saada pudotettua sellaisessa kunnossa, että sitä voidaan hyödyntää osana rikostutkintaa. Alla olevassa havainnekuvassa on merkitty tiedustelun kohde punaisella ympyrällä. Lennokin tulo- ja poistumissuunnat on merkitty mustilla nuolilla. Lennokin lentämä kehä on merkitty sinisillä nuolilla.



Kuva 5: Havainnollistava esimerkki skenaarista 5

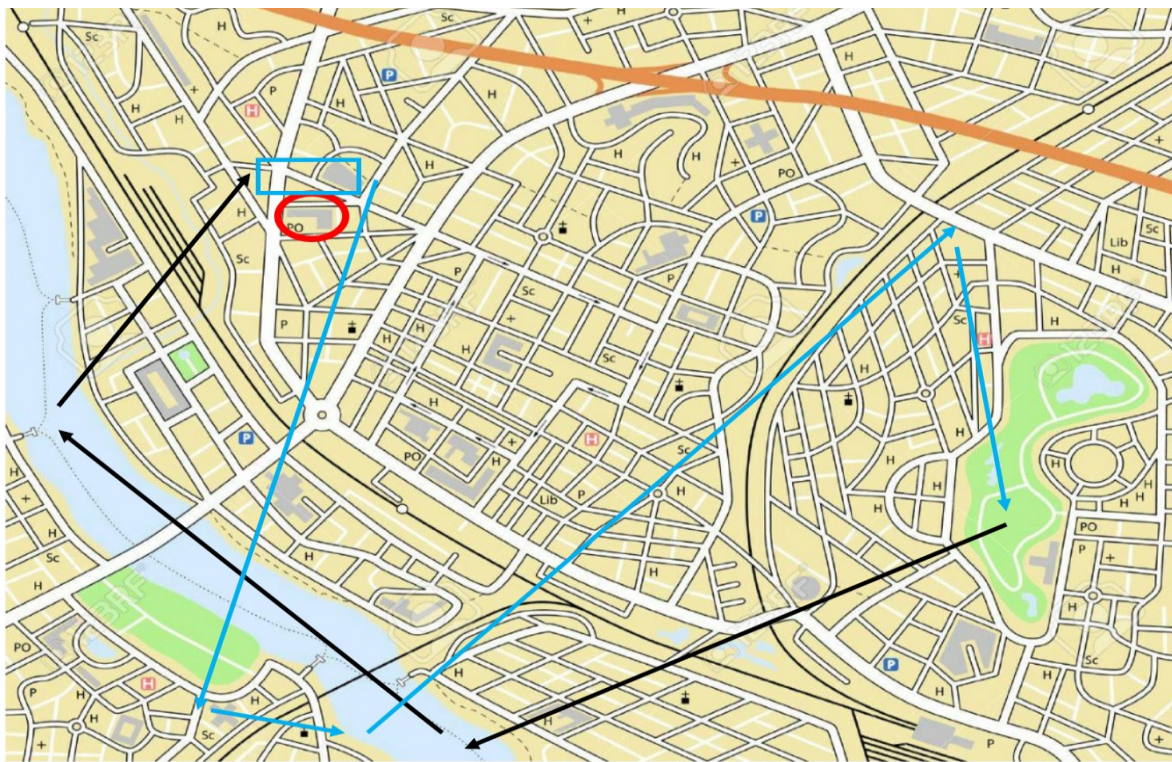
2.12. Skenaario 6: Visuaalinen tiedustelu

Hyvälaatuisella suurentavalla kameralla varustettu kaupallinen multikopteri lennetään leijuntaan valtion virastorakennuksen ikkunan ulkopuolelle. Kameran avulla pyritään maalittamaan avainhenkilöiden työhuoneet. Kopteri pidetään niin etäällä rakennuksesta, että sitä ei voida rakennuksen sisältä havaita äänen perusteella. Tiedustelu pyritään toteuttamaan huomiota herättämättä. Lennätyspaikka, jonne kopteri palaa tehtävän jälkeen on kulunvalvotun alueen ulkopuolella, viidestäsadasta tuhanteen metriin tiedusteltavalta kohteelta. Tiedusteltava kohde voisi olla joku Puolustusvoimien tärkeistä esikunnista, esimerkiksi Logistiikkalaitoksen esikunta Tampereella. [94]

Kohteiden paikantamisen jälkeen voidaan niihin kohdistaa joko lisää tiedustelua tai suorittaa väkivaltainen isku pyrkimyksenä lamauttaa tärkeitä päätöksentekijöitä. Lennokin käytön etuna on mahdollisuus tiedustelulaitteiston kuljettaminen sellaiseen kohteeseen, johon käsiksi pääseminen olisi muuten vaikeaa. Lennokki kyetään lentämään tiukan kulunvalvonnan alaiselle alueelle ilman että sitä havaitaan. Multikopterilla voidaan myös laskeutua rakennuksen räystäälle niin, että lennokin kamera saadaan suunnattua tiedusteltavaan kohteeseen. Pysähtynyt paikallaan olevaa lennokkia on vaikea huomata. Koska lennokin moottorit ovat samuksissa, sen akku kestää pitkään. Lennokilla voidaan myös kuljettaa samanlaiselle alueelle ulkoisena kuormana omalla akullaan ja tiedonsiirtojärjestelmällään varustettu laite. Tämän skenaarion tapauksessa se voisi olla esimerkiksi riistakamera, mikrofoni tai jo aikaisemmin käsitellyt valetukiasema tai häirintälähetin. Näin lennokki voidaan kuorman laskemisen jälkeen lentää pois, mikä edelleen pienentää riskiä sen havaitsemisesta.

Havainnollistava esimerkki skenaariosta 6

Kohteena on rakennetulla alueella sijaitseva esikunta. Lennokkina on kuvaamiskäyttöön tarkoitettu ”pieni multikopteri” tai ”iso multikopteri”. Lennokissa on korkearesoluutioinen kamera. Lennokki lähetetään liikkeelle sellaisesta maastonkohdasta, jossa ei tyypillisesti ole muita ihmisiä ja josta on riittävän lyhyt etäisyys tiedusteltavaan kohteeseen. Lennätyspaikalta on useita irtautumisreittejä siltä varalta, että lennokki paljastuu. Lennokki lentää kohteeseen korkealla, jotta sen havaitseminen visuaalisesti on vaikeaa, mutta kuitenkin sallitussa korkeudessa alle 150 metriä [92]. Lennokki lentää kohteelle epäsuoraan harhauttaakseen mahdollista visuaalista havainnointia ja todellisen kohteen salaamiseksi. Kohteella lennokki leijuu mahdollisimman kaukana kohteesta, mutta niin lähellä, että kameran kuvasta kyetään tunnistamaan yksittäiset henkilöt. Tämä etäisyys voisi olla 50-100 metriä. Kuvaamisen aikana lennokin on oltava ikkunoiden korkeudella. Lennokki liikkuu kuvaamisen aikana tarvittaessa saadakseen kaikki haluamansa kohteet kuvattua. Kuvattuaan haluamansa kohteet, lennokki suorittaa harhautusliikkeitä ja palaa lennätyspaikalle. Lennokin torjuminen saattaa olla toissijaista lennättäjän kiinni saamiseen verrattuna. Lennokki tulisi saada pudotettua sellaisessa kunnossa, että sitä voidaan hyödyntää osana rikostutkintaa. Alla olevassa havainnekuvassa on merkitty tiedustelun kohde punaisella ympyrällä. Kohteen lähestyminen on merkitty mustilla nuolilla ja irtautuminen sinisillä nuolilla. Lennokin kuvaamiseen käyttämä alue on merkitty sinisellä nelikulmiolla.



Kuva 6: Havainnollistava esimerkki skenaariosta 6

2.13. Skenaario 7: Lennokki tuliaseen lavettina

Lennokki toimii kevyen tuliaseen lavettina [90]. Yhdistämällä tavanomainen itselataava tuliase jossa on suurikapasiteettinen lipas ja riittävän suurikokoinen, kameralla varustettu multikopteri, saadaan aikaan lennökkialustainen asejärjestelmä. Edellä mainittu asejärjestelmä kykenee hyökkäämään sekä yksittäistä kohdetta tai joukkoa kohteita vastaan aktiivisen ampujan (active shooter) tavoin. Lennokki ilmaantuu yllättäen alueelle ja avaa tulen kohdettaan vastaan, lennokin ohjaaja seuraa kamerasta tapahtumia ja kykenee seuraamaan kohteita ja tarkkailemaan saamaansa vaikutusta. Kohdatessaan vastarintaa lennokki lisää korkeutta ja siirtyy uuteen paikkaan saavuttaen jälleen yllätysedun. Paikalle tulevat viranomaiset kohtaavat nopeasti liikkuvan pienen maalin, joka kykenee aktiiviseen tulenkäyttöön. Lennokin lennättäjän löytäminen on vaikeaa, sillä resursseja joudutaan sitomaan siviilien suojeluun ja lennokin pysäyttämiseen. On myös olemassa uhka, että lennokkeja on useita, mikä voi vaikuttaa viranomaisten kykyyn muodostaa tilannekuvaa ja etsiä lennättäjää. Nykyisellä kuluttajien saatavissa olevalla tekniikalla käytetyn aseiden suorituskyky todennäköisesti laskee. Ilman riittävän raskasta vakautusjärjestelmää tähtäminen vaikeutuu huomattavasti mikä lyhentää tehokasta ampumaetäisyyttä. Myös lippaan vaihtaminen sekä häiriön poistaminen todennäköisesti eivät onnistu, mikä rajoittaa toimintamahdollisuuksia. Toisin kuin monissa muissa skenaarioissa ja tapauksissa, ei ole merkkejä siitä, että kaupallinen minilennokki kykenisi vielä lähitulevaisuudessa tämänkaltaiseen iskuun autonomisesti. Tämänkaltaisen isku edellyttää lennokin aktiivista lennättämistä ja viestiyhteyttä lennokin ja lennättäjän välillä.

Havainnollistava esimerkki skenaariosta 7

Kohteena on markkinat sekä julkisen liikenteen asema. Lennokkina on ”iso multikopteri”. Lennokkiin on asennettu kevennetty itselataava tuliase suurella lippaalla. Lennokki lähetetään liikkeelle sellaisesta maastonkohdasta, jossa ei tyypillisesti ole muita ihmisiä ja josta on helppo irtautua. Lennokki lentää kohteeseen korkealla, jotta sen havaitseminen visuaalisesti on vaikeaa, mutta kuitenkin sallitussa korkeudessa alle 150 metriä [92]. Lennokkia lennetään lennokin kameran perusteella. Lennokin asejärjestelmä on kohdistettu niin, että sillä voidaan kamerakuvan perusteella tähdätä. Lennokki lentää kohteelle epäsuoraan harhauttaakseen mahdollista visuaalista havainnointia ja todellisen kohteen salaamiseksi. Kohteella lennokki pudottaa korkeutta ja lentää iskun ajan 10-20 metrissä maanpinnasta. Lennokki avaa tulen väkijoukkoon. Kohteiden suojautuessa tai lennokin kohdatessa vastarintaa se nostaa korkeutta ja lentää talojen yli läheiselle julkisen liikenteen asemalle, jossa suorittaa toisen iskun. Patruunoiden loputtua lennokki toteuttaa toisen seuraavista vaihtoehtoista. Ensimmäinen vaihtoehto on, että lennokki nostaa korkeuden erittäin korkealle kadoten visuaalisen valvonnan piiristä ja palaa lennätyspaikalle uudelleenladattavaksi. Havainnekuvassa vaihtoehto on merkitty kirjaimella A. Toinen vaihtoehto on, että lennokki irtautuu ja pyrkii laskeutumaan suureen vesistöön tai vastaavaan hävittääkseen todisteet. Irtautuminen voidaan toteuttaa autonomisesti. Tässä tapauksessa lennokki kykenee akunkeston sa rajoissa liikkumaan useita kilometrejä toimien samalla harhautuksena, antaen lennättäjälle aikaa paeta. Havainnekuvassa vaihtoehto on merkitty kirjaimella B. Alla olevassa havainnekuvassa lennätyspaikka on merkitty kirjaimella X. Lennokin reitti ensimmäiselle kohteelle on merkitty mustilla nuolilla, reitti kohteiden välillä on merkitty punaisella nuolella ja irtautumisreittivaihtoehdot sinisillä nuolilla. Kohteet on ympyröity punaisella.

Tutkimukseen on valittu joukko eri valmistajien tuotteita, joista kukin kuvaa esimerkinomaisesti tiettyä lennokintorjuntamenetelmää tai menetelmäjoukkoa. Suurin osa ratkaisuksista on kaksivaiheisia, joissa ensin lennokka havaitaan sekä tunnistetaan, ja tämän jälkeen se torjutaan. On kuitenkin myös järjestelmiä, jotka eivät ole riippuvaisia lennokin havaitsemisesta.

Tutkimukseen on valittu sellaisia tuotteita, jotka on joko hyväksytty käyttöön jollakin merkittävällä toimijalla tai joihin on tehty merkittäviä taloudellisia investointeja. Tarkoituksena on ollut varmistua siitä, että esimerkeissä kuvatut järjestelmät oikeasti toimivat. Tämä on lähdekritiikin näkökulmasta tärkeää, sillä suurin osa laitteiden tiedoista perustuu valmistajien julkaisemaan markkinointimateriaaliin.

Tutkimuksessa käsitellään yhdeksän erilaista lennokintorjuntamenetelmää. Menetelmät ovat: Lennokin ohjauksen kaappaaminen, jonka esimerkkijärjestelmänä on Mesmer. Tutkan, optisen sensorin, elektronisen häirinnän ja laserpolttimen käyttö toisiaan täydentäen, jonka esimerkkinä on Dronedome. Lennokin viestiliikenteen radiosuuntiminen, jonka esimerkkinä on Silent Archer. Ympärisäteilevä sotilasmallinen häirintälähetin, jonka esimerkkinä ANCILE. Kädessä pidettävä suuntaava häirintälähetin, jonka esimerkki DroneGun MkIII. Ympärisäteilevä siviilimallinen häirintälähetin, josta on useampia esimerkkejä saman otsikon alla. Lennokkien torjuminen koulutettujen petolintujen avulla, jonka esimerkkinä Alankomaiden poliisin kotkat. Lennokin torjunta toisella lennokilla, jonka esimerkkinä Dronehunter F700. Lennokin akustinen paikantaminen, jonka esimerkkinä Fencepost.

3.2. Ohjauksen kaappaaminen: Mesmer

Mesmer on Department 13 -yrityksen lanseeraama lennokintorjuntajärjestelmä, jonka toiminta perustuu lennokin ohjauksen kaappaamiseen. Mesmer seuraa passiivisesti radiotaajuuksia ja pyrkii tunnistamaan signaalianalyysillä ja signaalin sisällön tarkastamisella ei-toivotun lennokin. Tunnistettuaan kohteen Mesmer kaappaa lennokin ohjauksen hyödyntäen ohjelmistohäikkouksia. Kaappauksen jälkeen järjestelmä pyrkii antamaan lennokille uudet komennot, jotka joko lähettävät lennokin alkuperäisen pilotin määrittämään paluupisteeseen, Mesmerin käyttäjän määrittämään paluupisteeseen tai laskeutumaan välittömästi. Mesmer kykenee samanaikaisesti toimimaan yhtä tai useampaa lennokkia vastaan, jotka käyttävät eri taajuuksia. Havaitessaan ennestään tuntemattoman lennokokityypin, järjestelmä analysoi ohjaussignaalin modulaatiota, formaattia ja muita ominaisuuksia löytääkseen tavan vaikuttaa siihen. [99, 100]

Raytheon, joka on yksi maailman suurimmista puolustusalan yrityksistä, on aloittanut yhteistyön Department 13 kanssa [101]. Vaikka tämä ei varsinaisesti todista mitään, on se silti merkki siitä, että järjestelmän toimivuuteen uskotaan. Mesmer ei julkisten lähteiden mukaan ole kuitenkaan tällä hetkellä missään päin maailmaa operatiivisessa käytössä.

3.3. Tutkan, optisen sensorin, elektronisen häirinnän ja laserpolttimen yhdistelmä: Dronedome

Dronedome on israelilaisen Rafaelin lennokkien havainnointiin ja torjuntaan kehittämä järjestelmä. Dronedomen valvontaosa koostuu neljästä RADA Innovative Defense Electronicsin RPS-42 pMHR S-kaistan tutkasta, jotka yhdessä tarjoavat 360 asteisen valvontakyvyn, Controp MEOS elektro-optisesta valvontalaitteesta, Netlinen NetSense Wideband radioliikennesensorista sekä komentokonsolista. Lisävarusteena on mahdollista hankkia lennokin torjumiinseen C-Guard RD -radiohäirintälähetin, Lite Beam laser ja/tai korkeapainevesisuihku. [102]

Dronedome on tällä hetkellä käytössä Isossa-Britanniassa, Gatwickin lentoasemalla, missä lennokit olivat aiheuttaneet häiriöitä lentoliikenteelle. Siellä on käytössä julkisten lähteiden perusteella valvontakyky sekä radiohäirintäkyky, mutta ei laseria. [103]

Israelilainen Skylock Anti-drone systems valmistaa Dronedomen kaltaista Skylock -nimistä järjestelmää. Järjestelmä koostuu 360 astetta kattavasta 150 watin tehoisesta C/X taajuuskaistan tutkasta, joka pystyy samanaikaisesti havainnoimaan jopa 200 eri kohdetta, elektro-optisesta sensorista sekä lennokin kuva- ja ohjausyhteyden katkaisuun tarkoitettusta häirintälähtimestä. Lisävarusteena on saatavilla kohteen tuhoamiseen soveltuva 1000W laserpolttin, radioliikennettä seuraava ja lennokkien signaaleja tunnistava sensori sekä kannettava ”Anti-Drone Gun” häirintälähetin. [104] Järjestelmää on esitelty Eurosatory -messuilla vuonna 2018. [105, 106] Skylock ei julkisten lähteiden mukaan ole tällä hetkellä missään päin maailmaa operatiivisessa käytössä.

3.4. Radiosuuntiminen: Silent Archer

Silent Archer järjestelmä on yhdysvaltalaisen SRC:n versio lennokkien valvonta- ja torjuntajärjestelmästä. Järjestelmä koostuu useista vaihtoehtoisista komponenteista. Komponentteja ovat: Radiosuuntimo, tutka, elektronisen sodankäynnin järjestelmä, visuaalisen tunnistamisen järjestelmä ja käyttäjänpääte. [107]

Radiosuuntimovaihtoehtoina ovat laajakaistainen radiosignaalien suunnan määrittämiseen tehty Whisper Hunter™ suuntimo [107, 108] ja 2-D AESA suuntimo Gryphon S1200, joka tunnistaa lennokin signaalit ja ilmoittaa käyttäjälle tarkan suunnan sekä lennokkiin että lennättäjään. Gryphon S1200 sisältää kirjaston kaupallisten lennokkien signaaliprofiileja, joita hyödyntämällä se pyrkii selvittämään lennokin tyypin. [107, 109]

Tutkavaihtoehdot ovat AN/TPQ-50 ja AN/TPQ-49 L-taajuuskaistan vastatykistötutkat SRC:n omalla LSTAR ilma- ja maavalvontaohjelmistolla [107, 110, 111], erikseen lennokkien havainnointiin kehitetty X-taajuuskaistan pulssi-doppler AESA tutka Gryphon R1400 [112] sekä SkyChaser® ajoneuvoasenteinen valvontatutka [107, 113].

Elektronisen sodankäynnin järjestelmänä on SRC5986A lähetin-vastaanotin [107, 114].

Kohteen visuaaliseen tunnistamiseen on elektro-optinen, lämpökameran sisältävä ”Night Hawk” PVP Advanced EO Systemsiltä [107]. SRC ei tarkenna mitä PVP:n ”Night Hawk” sarjan tähtystyslaitteista tässä yhteydessä tarjotaan. PVP valmistaa kyseistä tähtystimestä useita toisistaan poikkeavia versioita. [115]

Käyttäjänpääteeksi on tarjolla SRC 3-D user display sekä Gryphon Skylight Airspace Monitor Interface [107].

Silent Archer on ollut aktiivisessa käytössä jo pitkään ja sitä on käytetty suojaamaan esimerkiksi G8 ja G20 kokouksia sekä Lontoon olympialaisia 2012 [116]. Viimeisimpänä Yhdysvaltojen maavoimat on hankkinut 31.1.2019 julkaistun tiedon mukaan SRC:n lennokintorjuntajärjestelmiä 108 miljoonalla dollarilla. Yhdysvaltain armeija oli jo vuonna 2017 hankkinut 15 järjestelmää SRC:ltä. Myös Yhdysvaltojen ilmavoimat on investoinut 57 miljoonaa dollaria yrityksen vasta-lennokki tuotteisiin. [117]

3.5. Ympärisäteilevä sotilasmallinen häirintälähetin: ANCILE

Kanadalainen Allen-Vanguard tarjoaa tuotenimellä ANCILE ympärisäteilevää häirintälähetintä, jonka tarkoituksena on suojata saattueita ja tukikohtia kaupallisilta lennokeilta [118]. Järjestelmää käytettiin Kanadan Quebecissa järjestetyssä G7 kokouksessa 2018, jossa sillä luotiin n. 1,5km säteeltään oleva alue, jossa kaupallisten lennokkien ohjaussignaalit häiriintyivät. [119] Järjestelmän etuina kilpailijoihinsa verrattuna on pieni koko [119] ja edullisuus [118].

3.6. Kädessä pidettävä suuntaava häirintälähetin: DroneGun MkIII

Monikansallisen Droneshield yrityksen [120] DroneGun MkIII on kädessä pidettävä lennokintorjuntaan kehitetty akkukäyttöinen häirintälähetin, joka muistuttaa pistoolia. Sen lähettämä häirintäsignaali katkaisee useita radiotaajuuksia samanaikaisesti. Katkaistuja taajuuksia ovat 433MHz, 915MHz, 2.4GHz ja 5.8GHz sekä satelliittinavigaatiotaajuuudet. Se ei kuitenkaan katkaise matkapuhelintaajuuksia eikä muita varattuja taajuuksialueita. Laitteen kantamaksi ilmoitetaan 750 metriä. [121]

Droneshield julkaisi 9.3.2020 saaneensa Yhdysvaltain hallinnon alaiselta virastolta merkittävän tilauksen, jonka arvo on 460 000\$. Tiedote ei täsmennä, mitä tuotteita tilaus sisälsi. [122] Droneshield on myynyt tuotteitaan aikaisemmin useille toimijoille, joihin kuuluvat mm. Paraguayn puolustusministeriö, Ranskan asevoimat sekä Queenslandin poliisi. Lisäksi nimeämätön Lähi-idässä oleva valtio on investoinut yrityksen tuotteisiin 3,2 miljoonaa dollaria ja sen tuotteita käytettiin suojaamaan Pyeongchangin talviolympialaisia 2018. [123]

Vastaavantyyppisiä lähettämiä ovat IXI Electronic warfare yrityksen Dronekiller [124] sekä joulussa 4.2.4 Skylock mainittu Anti-Drone Gun häirintälähetin [104]. Dronekillerin kantamaksi ilmoitetaan 800 metriä ja se kykenee häiritsemään samoja taajuuksalueita kuin Drone-Gun MkIII. Satelliittinavigoinnin häirintä on Dronekillerissä valinnainen ominaisuus. Kuvien perusteella Dronekiller häirintälähettimen alaosa muistuttaa ulkoisesti erittäin paljon Fabrique Nationalen P90 konepistoolia johon on kiinnitetty akkuporakoneen akku. [124]

Israelilaisen Skylock Anti-drone systemsin Anti-Drone Gun kykenee kiistämään hyötysignaalin 750m-1000m etäisyyksiltä olosuhteista riippuen, tyypillisen häirintäetäisyyden ollessa 300% lennokin ohjaimen kantamasta. Anti-Drone Gun häiritsee taajuuksia 433MHz, 445MHz, 455MHz, 915MHz, 2,45GHz ja 5,8GHz sekä GPS L1 ja Glonass L1 taajuuksia. Satelliittinavigoinnin taajuuksia Anti-Drone Gun häiritsee kapealla keilalla minimoidakseen ympäristölle aiheutuvat häiriöt. [104]

3.7. Ympärisäteilevät siviilimallin häirintälähettimet

Internetistä löytyy muutamien tuhansien dollareiden hintaan myös tavallisille kuluttajille häirintälähettämiä, joita markkinoidaan lennokkien torjuntaan ja satelliittipaikannuksen häirintään. Nämä tuotteet häiritsevät tyypillisimpiä lennokkien käyttämiä taajuuksia sekä GPS ja Glonass yhteyksiä. Esimerkiksi verkkokaupat Perfectjammer [125] ja Jammer-Store [126] tarjoavat valikoimaa lennokkien torjuntaan tarkoitettuja häirintälähettämiä.

3.8. Lennokkien torjuminen petolintujen avulla: Alankomaiden poliisin kotkat

Vuonna 2016 Alankomaiden poliisi ilmoitti hankkineensa käyttöönsä erikoiskoulutettuja kotkia, joita oli tarkoitus käyttää laittomien lennokkien torjuntaan. Ilmoitus herätti suurta mielenkiintoa ja monet mediat jakoivat uutista. Kotkat koulutettiin näkemään lennokit metsästettävänä saaliina sitomalla harjoituksissa käytettäviin lennokkeihin pala lihaa. Tarkoituksena oli, että kun havaitaan luvaton lennokki poliisi voisi lähettää kotkan ilmaan. Kotka hyökkäisi lennokin kimppuun ja veisi sen mukanaan maahan, kauas ihmisistä päästäkseen rauhassa ruokailemaan. Tarkoituksena oli kouluttaa sata poliisia yhteistyöhön kotkien kanssa. [127, 128, 129, 130]

Alankomaiden poliisi järjesti demonstraaation kotkien käytöstä ja tilanteesta kuvatussa videossa näkyy, miten sisähallissa on matalalla leijunnassa pienikokoinen valkoinen nelikopteri. Lennokkiin on kiinnitetty teipillä pala lihaa. Kun kotka on lähetetty ilmaan se lentää lennokin luo, tarttuu siihen kynsillään ja kantaa sen maahan hallin nurkkaan. Myöhemmin samalla videolla näytetään sama suoritus myös ulkoilmassa. Videolla kotkia käsittelevät Guard from above -yrityksen tunnuksia kantavat henkilöt. Kotkien koulutuksen todetaan ulkoistetun yksityiselle yritykselle. [131]

Joulukuussa 2017 Alankomaiden poliisi ilmoitti keskeyttäneensä kotkiin liittyvän projektinsa ja luopuneensa kotkistaan. Syynä oli ennakoitua korkeammat kustannukset ja koulutuksen haasteellisuus. Kotkat eivät aina harjoituksissa toimineet toivotulla tavalla, mikä aiheutti epäilyksen, etteivät ne olisi luotettava väline myöskään kontrolloidun testiympäristön ulkopuolella. [132, 133]

Kotkat kouluttanut yritys Guard from above on edelleen toiminnassa ja uskoo kotkiin lennokintorjunnassa. Tällä hetkellä yrityksen verkkosivuilla kerrotaan että he tarjoavat valmiiksi koulutettuja petolintuja, lintujen käsittelykoulutusta sekä lennokintorjuntakonsultointia. Guard from above kertoo sivuillaan toimivansa yhteistyössä useiden kansainvälisten kumppaneiden kanssa. [134]

3.9.Lennokin torjunta toisella lennokilla: DroneHunter F700

DroneHunter F700 on yhdysvaltalaisen ilmatilan valvontaan ja turvallisuuteen erikoistuneen Fortem Technologiesin versio lennokkeja vastaan käytettävästä lennokista. Lennokkiasenteisen torjuntajärjestelmän etuna on kyky toimia sellaisia kohteita vastaan, jotka ovat maassa olevien järjestelmien ulottumattomissa joko puuttuvan näköyhteyden (line-of-sight) tai kohteen liian suuren nopeuden tai korkeuden takia. Järjestelmän torjuntakyky perustuu DroneHunter F700 lennokin ampumaan verkkoon, joka pyydystää torjuttavan lennokin. Verkko on kiinnitetty torjuntalennokkiin liealla, mikä mahdollistaa torjutun lennokin kuljetamisen hallitusti valittuun paikkaan, jossa pyydystetty lennokki voidaan tutkia ja sen hyötykuorma voidaan purkaa turvallisesti. DroneHunter F700 sisältää TrueView™ tutkan, joka mahdollistaa autonomisen kohteen tunnistuksen, takaa-ajon ja torjunnan. DroneHunter F700 kykenee toimimaan kaikkina vuorokaudenaikoina ja sillä on valmistajan mukaan saatu jo yli 4000 pudotusta. DroneHunter on muokattavissa käyttämään myös muita torjuntakeinoja kuin vakiona olevaa verkkoa. [135]

Maa-asemana DroneHunterille toimii SkyDome järjestelmä. SkyDome muodostaa yhdessä TrueView -tutkan kanssa digitaalisen 3D peiton suojattavasta alueesta, jossa se havaitsee kaiken toiminnan maanpinnasta ylöspäin. Valmistajan mukaan SkyDome kykenee tunnistamaan ja seuraamaan satoja kohteita kaikkina vuorokaudenaikoina kolmessa ulottuvuudessa. Järjestelmä tunnistaa ja seuraa kaikkea alueella tapahtuvaa liikettä, mukaan lukien linnut, lennokit, ajoneuvot ja ihmiset. Sen tavoite on luoda kattava tilannekuva ilmatilasta. Järjestelmän tekoäly voi tunnistettuaan kohteen joko torjua sen autonomisesti DroneHunter lennokilla tai varoittaa järjestelmän käyttäjää uhasta. [135, 136]

Fortem Technologies on tehnyt sopimuksen Yhdysvaltain puolustusministeriön kanssa tekoälypohjaisista lennokintunnistus ja -torjuntajärjestelmistä. Sopimuksen piiriin kuuluvat DroneHunter, SkyDome, TrueView-tutka sekä DroneHangar järjestelmät. [136, 137]

Vastaavan tyyppisiä lennokintorjuntaan erikoistuneita lennokkeja on saatavissa muitakin, kuten Delft Dynamicsin DroneCatcher [138], Theiss UAV Solutionsin EXIPIO [139] sekä Sandia National Laboratoriesin kehittämä MARCUS projekti [140]. DroneCatcher ja EXIPIO kykenevät hinaamisen lisäksi pudottamaan verkkoon jääneen lennokin laskuvarjolla maahan, mikäli se on liian raskas hinattavaksi. EXIPIO kykenee ampumaan useampia verkkoja saman lennon aikana ja MARCUS projektissa käytetään yhden lennokin sijaan verkon levittämiseen neljän multikopterin parvea. [138, 139, 140] Yhdistävänä tekijänä on kaikissa kuitenkin verkolla varustettu lentävä lavetti, joka pyrkii pyydystämään kohteena olevan lennokin ja toimitamaan sen hallitusti maahan.

3.10. Lennokin akustinen paikantaminen: Fencepost

Akustinen paikantaminen perustuu mikrofoniin, jotka tunnistavat lennokin äänen ja suuntivat sen [21]. Esimerkkeinä akustisesta paikantamisesta on General Atomics Electromagnetic Systemsin valmistama Fencepost -järjestelmä. Yhdysvaltain maavoimien järjestämissä kokeissa käytettiin kuuden Fencepost -sensorin muodostamaa kokonaisuutta. Sensorit kykenivät havaitsemaan ja seuraamaan tehokkaasti vaikutusalueellaan olleita pieniä lennokkeja. [141] Toinen esimerkki on DroneBouncerin valmistama ORELIA Drone-Detector -järjestelmä, joka koostuu akustisesta sensorista ja ohjelmistosta. Havaitessaan lennokin järjestelmä suorittaa hälytyksen. Tunnistusetäisyydeksi on ilmoitettu 100 metriä ja kattavuudeksi 360 astetta. [142] Vaikka kumpikaan järjestelmä ei itse torju lennokkeja, voidaan niiden kanssa käyttää erillistä torjuntakomponenttia ja näin muodostaa havaitsemiseen ja torjuntaan kykenevä järjestelmä.

3.11. Yhteenveto aktiivisista torjuntamenetelmistä

Edellä käsiteltyjen järjestelmien toiminta voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä kohde havaitaan ja toisessa se torjutaan. Osa häirintäjärjestelmistä kuten ANCILE ja siviili-tuotteet, ei kuitenkaan sisällä kohteen havaitsemiseen tarvittavaa tekniikkaa, vaan häiritsee jatkuvasti kaikkia valittuja taajuuksia. Fencepost ja ORELIA pelkästään havaitsevat lennokin, mutta eivät torju sitä.

Ensimmäiseen vaiheeseen on neljä teknistä ratkaisua: Tutka, optinen paikantaminen, radio-suuntiminen sekä akustinen paikantaminen. Tutka pyrkii paikantamaan kohteen lähettämänsä sähkömagneettisen säteilyn heijastusten perusteella [143]. Optisesti lennokka paikannetaan käyttäen näkyvän valon ja infrapuna-alueen kameroita tai yksinkertaisimmillaan ihmisen näköaistia. Kolmanneksi lennokka voidaan paikantaa suuntimoasemilla, jotka pyrkivät havaitsemaan lennokin ja sen lennättäjän välisen viestinnän. Viimeinen vaihtoehto lennokin havaitsemiseen on akustinen paikantaminen. Yksinkertaisimmillaan akustinen paikantaminen on ihmisen kuuloaistiin perustuva havainto lennokista.

Mikään tunnistusmenetelmistä ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton. Tutka havaitsee lennokkien lisäksi muut ilmatilassa liikkuvat asiat, kuten linnut, mikä voi vaikeuttaa vaarallisten kohteiden tunnistamista vaarattomista. Optinen tunnistus vaatii suoran näköyhteyden (line-of-sight) sensorin ja lennokin välillä, mikä voi aiheuttaa katveja peitteisessä maastossa. Suuntimoasemat voivat havaita vain sellaiset kohteet, jotka aktiivisesti lähettävät sähkömagneettista säteilyä, mitä esimerkiksi autonomiset lennokit eivät välttämättä tee.

Akustisen tunnistamisen ongelmana on erilaisten lennokkien suuri määrä, joiden äänet voivat olla hyvinkin erilaisia. Toisena ongelmana on riski väärin havaintoihin ympäristön melun takia. Akustinen järjestelmä pitää myös kalibroida tarkasti ympäristön ja olosuhteiden mukaan. [21]

Eri menetelmissä olevien ongelmien takia useimmat järjestelmät käyttivät useampaa edellä mainituista ratkaisuista havaitsemaan ja paikantamaan torjuttavan lennokin. Tällöin menetelmät voivat tukea toisiaan ja paikata toistensa heikkouksia.

Toisessa vaiheessa lennokka torjutaan. Tutkimuksen lähdemateriaalissa torjuntaan on tarjolla viisi teknistä ratkaisua. Ensinnäkin lennokin häirintä elektronisen sodankäynnin keinoin, toiseksi sen ohjauksen kaappaaminen tietoturva-aukkojen kautta, kolmanneksi sen pudottaminen suunnatun energian aseella, neljänneksi sen pudottaminen kineettisesti ja viidenneksi sen pyydystäminen ilmasta omalla lentävällä järjestelmällä.

Sekä sähkömagneettisen häirinnän että tietoturva-aukkojen kautta tapahtuvan kaappaamisen ongelmana ovat autonomiset lennokit. Mikäli lennokka ei ole riippuvainen ulkoisista läheteistä, eikä itse lähetä mitään, ei sen sähkömagneettisesta häirinnästä ole hyötyä. Samalla tavoin tietoturva-aukkojen hyödyntäminen ja sitä kautta ohjauksen kaappaaminen edellyttää, että lennokka on ylipäättään ohjattavissa etäyhteydellä sekä sitä, että sen tietoturva-aukot ovat tiedossa. On myös vaikea etukäteen tietää, miten lennokka tulee reagoimaan, kun sitä häiritään. Häirinnän etuna on kuitenkin sen helppous. Kädessä pidettävä häirintälähetin on pienikokoinen ja edullinen, esimerkiksi IXI Electronic warfare mainostaa Dronekiller häirintälähetintään seuraavasti: ”LOW-COST. DRONEKILLER units are priced in the thousands, making reliable, anti-drone technology more accessible to tactical response teams on the local level [124].”

Suunnatun energian aseiden ongelmana on vaatimus näköyhteydestä sekä hallitsemattomasti putoavan lennokin aiheuttamat riskit. Suunnatulla energialla pudotettu lennokka saattaa olla edelleen vaarallinen putoamispaikallaan. Vaihtoehto soveltuu kuitenkin hyvin sellaisiin paikkoihin, joissa on paljon tilaa ja joissa putoava lennokka ei suurella todennäköisyydellä pääse aiheuttamaan vaaraa. Kineettisen vaikuttamisen ongelmana on sen aiheuttamat vaarat ympäristölle sekä torjutun lennokin hallitsematon putoaminen.

Lennokintorjuntalennokkien tärkeimpänä etuna muihin menetelmiin nähden on niiden kyky torjua kohteena oleva lennokka hallitusti. Mikäli torjunta onnistuu, ei verkossa oleva lennokka pääse jatkamaan tehtäväänsä, pakenemaan tai putoamaan aiheuttaen vaaraa. Pitää kuitenkin huomata, että verkossa oleva lennokka saattaa olla edelleen ohjaajansa kontrolloitavissa ja sen sensorit saattavat edelleen toimia. Tämä saattaa mahdollistaa lennättäjälle tilannekuvan muodostamisen ja esimerkiksi asekuorman käytön. Olisikin hyvä, mikäli torjuntalennokin käyttö kyettäisiin yhdistämään elektroniseen häirintään, jolla katkaistaan torjuttavan lennokin ja sen lennättäjän välinen yhteys.

Tätä tutkimusta laajempi vertailu eri valmistajien lennokintorjuntajärjestelmien keinoista havaita ja torjua vihamielinen lennokka on julkaistu vuonna 2019 artikkelissa ”Security and Privacy in the Age of Drones: Threats, Challenges, Solution Mechanisms, and Scientific Gaps” jonka kirjoittajat ovat Ben Nassi, Asaf Shabtai ja Yuval Elovici Ben-Gurionin yliopistolta ja Ryusuke Masuoka Fujitsu Systems Integration Laboratoriesilta. Kyseisessä tutkimuksessa verrattiin 33 eri valmistajan tuotetta lennokkien paikantamisessa ja 18 eri menetelmää lennokin torjumiseksi. Tutkimuksessa todettiin että luotettavinta on käyttää lennokintorjuntajärjestelmässä useita eri sensoreita ja menetelmiä samanaikaisesti. [21]

4. VAATIMUSMÄÄRITTELY TORJUNTAJÄRJESTELMÄLLE

4.1. Vaatimusmäärittely tutkimusmenetelmänä

Tämän tutkimuksen laajuus ja sen tavoitteet huomioiden ei ole mielekästä toteuttaa vaatimusmäärittelyn prosessia täydellisenä ja kokonaisuudessaan. Koska tutkijan käytettävissä ei ole ollut Puolustusvoimien hankintapäätöstä tietyllä konseptilla toteutettavasta lennokintorjuntajärjestelmästä on tässä tutkimuksessa rajattu vaatimusmäärittelyä tutkijan toimesta niin, että se soveltuu akateemisen tutkimuksen osaksi.

Pasi Pasivirran ja Jyri Kosolan kirjassa ”*Vaatimustenhallinnan soveltaminen puolustusvoimissa* [144]” esitellään useita erilaisia menetelmiä kerätä vaatimuksia. Näistä menetelmistä on tähän tutkimukseen valittu skenaariotekniikka. Skenaariotekniikan etuina muihin menetelmiin nähden on sen kyky tuottaa hyviä vaatimuksia myös niissä tilanteissa, joissa ”vaatimuksia laativilla tahoilla ei ole selkeätä käsitystä järjestelmästä haluttavasta suorituskyvystä ja valitun konseptin ominaispiirteistä”. Skenaariotekniikkaa käytettäessä, ja mikäli konsepti ei niitä valmiiksi sisällä, ”vaatimustenhallinnan tehtävänä (on) laatia ainakin keskeiset käyttötilanteet ja niihin liittyvät skenaariot sekä tarkastella, miten järjestelmän näissä pitäisi käyttäytyä, miten sen pitäisi reagoida ulkoisiin heränteisiin sekä miten sen tulee toimia epänormaaleissa tilanteissa ja toipua niistä.” [144 s. 115-116] Tässä tutkimuksessa pidetään keskeisinä käyttötilanteina pääluvun 2 tapauksia ja skenaarioita.

4.2. Vaatimusmäärittelyn prosessi

Tämän vaatimusmäärittelyn prosessivaiheistus on sovellettu Vaatimusten hallinnan soveltaminen puolustusvoimissa skenaariotekniikan esimerkistä [144 s. 116].

1. Määritetään järjestelmän keskeiset suorituskyyvaatimukset.
2. Määritetään keskeiset sidosryhmät.
3. Määritellään eri käyttötilannetyypit.
4. Luodaan taulukko käyttötilannetyypeistä sekä niihin liittyvistä skenaarioista, tapauksista ja toimijoista.
5. Kuvataan kutakin tapausta ja skenaariota kohden, mitä vaatimuksia järjestelmälle on, jotta uhka saataisiin torjuttua.
6. Luodaan skenaariot, joissa järjestelmä tekee vaarantavia virheitä ja tarkastellaan niitä muiden vaatimusten tarkentamiseksi.

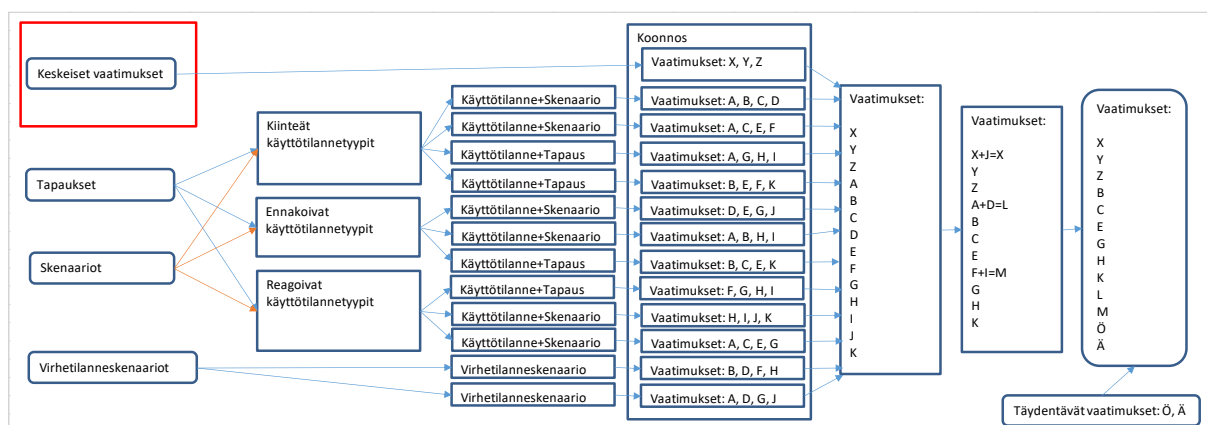
7. Johdetaan esiin tulleista suorituskyykyvaatimuksista vaatimusmäärittely.

Skenaariotekniikalla luotua vaatimuslistaa täydennetään tässä tutkimuksessa sellaisilla vaatimuksilla, jotka ovat tulleet esille muualla tutkimuksessa, mutta eivät esiinny sellaisinaan tapauksissa tai skenaarioissa.

Joidenkin vaiheiden kohdalla on käytetty vuokaaviota selventämään tutkimuksen kulkua ja välivaiheita. Vuokaavio kuvaa vaatimusten luomista, keräämistä ja käsittelyä. Käytetty vuokaavio on yksinkertaistettu malli, eikä ole yksityiskohdiltaan tarkka. Käsiteltävä asia on kuvattu kaaviossa punaisella kehyksellä.

4.3. Keskeiset suorituskyykyvaatimukset

Tässä alaluvussa on määritelty järjestelmän keskeisimmät suorituskyykyvaatimukset sekä perusteltu niiden tarpeellisuus. Nämä suorituskyykyvaatimukset muodostavat pohjan, jonka päälle rakennetaan pääosa vaatimuksista skenaariotekniikalla. Alla olevassa vaatimusmäärittelyn prosessia havainnollistavassa vuokaaviossa on kehystetty keskeisten vaatimusten määrittäminen punaisella.



Kaavio 2: Prosessin vaihe määriteltäessä keskeiset suorituskyykyvaatimukset

Järjestelmän tulee olla käytettävissä viranomaisten toimivaltuuksien puitteissa

Käytettäessä lennokintorjuntajärjestelmää rakennetulla alueella rauhan aikana muodostuu voimakeinojen puolustettavuus ja pienimmän haitan periaate merkittäväksi kysymykseksi. Järjestelmä ei saa aiheuttaa hyötyynsä nähden merkittävää vaaraa tai haittaa ympäröivälle yhteiskunnalle. Rakennetulla alueella voidaan lähtökohtaisesti olettaa oleskelevan ihmisiä mikä aiheuttaa riskin sivullisista vahingoista (collateral damage). Torjuntajärjestelmän piirissä oleskelevia ihmisiä täytyy toisaalta suojella lennokkien aiheuttamilta uhkilta, mutta myös torjuntajärjestelmän aiheuttamilta uhkilta.

Lainsäädäntö ja siihen pohjautuvat viranomaisten toimintavaltuudet ovat merkittävässä roolissa tutkittaessa lennokkitorjuntaa rauhan aikana. Lennokkiuhan torjunta lainsäädännöllisin keinoin jätetään jatkotutkimuskysymykseksi.

Laki Puolustusvoimista on päivittynyt 1.1.2019. Lain voimaantulon myötä Puolustusvoimilla on oikeus ottaa lennokki tai miehittämätön ilma-alus teknistä laitetta tai voimakeinoja käyttäen tilapäisesti haltuun, estää sen käyttö tai muutoin puuttua sen kulkuun Laki Puolustusvoimista 15 a § (5.12.2018/1089) mukaisesti. [1]

Lain mukaan ”Voimakeinojen ja teknisen laitteen käytön on oltava tarpeellisia suhteessa virkatehtävän tärkeyteen ja kiireellisyyteen, tavoiteltavaan päämäärään, viestinnälle aiheutuvaan haittaan sekä muihin tilanteen kokonaisarviointiin vaikuttaviin seikkoihin nähden. Voimakeinoja ja teknistä laitetta on käytettävä vain siinä määrin ja siihen saakka kuin se on välttämättä tarpeen tehtävän suorittamiseksi. Toimivaltuuksia käyttävällä virkamiehellä tulee olla tehtävään nähden riittävä osaaminen ja koulutus. Toimenpiteillä ei saa aiheuttaa vähäistä suurempaa haittaa muulle radioviestinnälle tai yleisen viestintäverkon laitteille tai palveluille. [1]”

Tällä hetkellä lennokkien torjuntaa Puolustusvoimissa ohjaa Pääesikunnan sotilaskäskynä julkaisema asiakirja HP179 MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN TORJUNTA PUOLUSTUSVOIMISSA. Asiakirja on suojatasoa IV ja ohjeistaa miten Puolustusvoimissa toteutetaan Laki Puolustusvoimista 15 a § (5.12.2018/1089) mukainen toiminta. [145] Lait ja normit päivittyvät jatkuvasti. Ne kehittyvät uhan ja teknisen kehityksen mukana. Hankittaessa uutta suorituskyykyä tulee huomioida mahdolliset lakimuutokset ja tarvittaessa päivittää normeja.

Järjestelmän tulee olla käytettävissä rakennetulla alueella

Lähes kaikki tapaukset ja skenaariot sijoittuvat rakennetulle alueelle, joka on myös tämän tutkimuksen rajauksena.

Järjestelmän tulee toimia Suomen olosuhteissa

Koska tutkimuksessa käsitellään Suomeen hankittavaa järjestelmää, tulee järjestelmän olla käytettävissä Suomen sää- ja valaistusolosuhteissa sekä suomalaisessa maastossa. Vaatimuksen tarkat arvot voidaan ottaa suoraan soveltuvasta standardista.

Järjestelmän on kyettävä luotettavasti havaitsemaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit

Järjestelmän tulee kyetä havaitsemaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit voidakseen toimia tarvittaessa niitä vastaan. OODA -loopin (Observation - Orientation - Decision - Action), ensimmäinen askel. Tarkat vaatimukset havainnointitodennäköisyyksistä eri olosuhteissa vaativat jatkotutkimusta.

Järjestelmän on kyettävä luotettavasti torjumaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit

Mikäli järjestelmä ei kykene torjumaan suojattavalle alueelle lentäviä lennokkeja, se ei täytä tehtäväänsä. Tarkat vaatimukset onnistuneen torjunnan todennäköisyyksistä eri olosuhteissa vaativat jatkotutkimusta.

Järjestelmä on kyettävä siirtämään uuteen paikkaan nopeasti

Luvussa 5.5 Luettelo käyttötilannetyypeistä määritetään ne tapaukset ja skenaariot, joissa suojattava kohde voisi olla tilapäinen. Tilapäiset kohteet asettavat lennokintorjuntajärjestelmälle vaatimuksen olla siirrettävissä joko ennakoivasti tai reaktiivisesti uudelle suojattavalle kohteelle. Ennakoivassa käyttötilannetyypissä nopeus on ensisijaisesti resurssien käyttöön liittyvä asia. Nopeus vähentää työkustannuksia sekä parantaa kuljetus- ja käyttöajan suhdetta. Reagoivassa käytössä taas nopeusvaatimus on paljon suurempi, sillä järjestelmää käytetään hälytysluontoisesti. Todellisessa hankintaprosessissa voitaisiin toimittajien tuotteita asettaa järjestykseen siirtonopeuden perusteella.

Järjestelmän on kyettävä suojaamaan vaaditun kokoinen alue

Jotta järjestelmällä voidaan suojautua tapausten ja skenaarioiden uhkatekijöiltä on suojattavan alueen oltava riittävän suuri sekä vaaka että pystysuunnassa. Suojattavan alueen koko ei perustu pelkästään tarpeeseen vaan tarpeen ja resurssien vertailuun. Rajattomilla resursseilla saadaan suojattua rajaton alue, mutta rajallisilla resursseilla on tehtävä valintoja, jotka vaikuttavat suojattavan alueen kokoon. Tässä tutkimuksessa ei oteta kantaa näihin priorisointeihin, joten todellisessa hankintatilanteessa vaatimuksia tulisi tarkentaa.

Reunaehdot

Ensimmäisenä rajauksena vaatimusmäärittelyssä on se, että vaatimuksia määritellään järjestelmälle, jonka omistaja olisi Puolustusvoimat. Vaikka Puolustusvoimat on järjestelmän omistaja, voidaan sitä silti käyttää myös muiden viranomaisten tukemiseen. Tukemisen perusteena on Puolustusvoimien toinen lakisääteinen tehtävä ”2) muiden viranomaisten tukeminen, johon kuuluvat: a) virka-apu yleisen järjestyksen ja turvallisuuden ylläpitämiseksi, terrorismirikos-

ten estämiseksi ja keskeyttämiseksi sekä muuksi yhteiskunnan turvaamiseksi [146]." Vaikka näkökulmana onkin Puolustusvoimille hankittava järjestelmä, olisi todellisessa hankkeessa mahdollista, että sama järjestelmä hankittaisiin myös esimerkiksi Poliisin ja/tai Rajavartiolaitoksen käyttöön osana samaa hanketta.

Tässä tutkimuksessa lennokintorjuntajärjestelmän konseptiksi on rajattu sellainen järjestelmä, joka asennetaan kiinteäksi useaan kohteeseen Suomessa ja joka täydellisenä tai riisuttuna voidaan ottaa käyttöön tilapäisesti myös muissa paikoissa. Esimerkkejä kiinteistä suojattavista kohteista ovat varuskunnat ja Pääesikunta. Esimerkkinä tilapäisesti suojattavasta kohteesta ovat paraatit ja virka-aputehtävien kautta muut suuret yleisötapahot.

Reunaehtoina huomioidaan myös taloudelliset rajoitteet kokonaiskustannuksille.

4.4. Keskeisten sidosryhmät

Lenkokintorjuntajärjestelmän käyttäjiä olisivat suojattavien kohteiden omistajat, jotka rajauksen perusteella olisivat Puolustusvoimien joukko-osastot, Pääesikunta, Puolustushaaraesikunnat ja Pääesikunnan alaiset laitokset. Logistiikkalaitos olisi järjestelmän omistaja. Asiakkaiksi laskettaisiin kaikki järjestelmän suojaamat kohteet, jolloin asiakkaina olisivat kaikki puolustushaarat, Pääesikunta ja Pääesikunnan alaiset laitokset. Koska järjestelmää on tarkoitus käyttää myös virka-avussa, on asiakkaiksi laskettava myös Poliisi ja Rajavartiolaitos. Koska järjestelmä toimii ilmailun alueella, on välittömänä sidosryhmänä sekä sotilasilmailun viranomaisyksikkö että Liikenne- ja viestintävirasto. Järjestelmän tuote- ja palvelutoimittaja olisi yritys, joka tuottaa lennokintorjuntajärjestelmän. Negatiivisia sidosryhmiä saattaisi muodostua todellisen järjestelmän hankinnan yhteydessä esimerkiksi järjestelmästä huolestuneiden kansalaisten toimesta. Myös jotkin lennokkivalmistajat saattaisivat olla negatiivisia sidosryhmiä.

4.5. Käyttötilannetyypit

Aikaisemmissa luvuissa käsiteltyjen tapausten ja skenaarioiden perusteella voidaan määrittää lennokintorjuntajärjestelmälle kolme erilaista käyttötilannetyyppeä. Ensinnäkin kiinteiden kohteiden suojaus, toiseksi tilapäisten kohteiden ennakkoiva suojaus ja kolmanneksi tilapäisten kohteiden reagoiva suojaus.

Kiinteiden kohteiden suojauksella tarkoitetaan käyttötilannetta, jossa järjestelmä on vakituisesti asennettuna ja toiminnassa jatkuvasti. Järjestelmä suojaa jotakin sellaista kohdetta, joka on määritetty niin tärkeäksi ja uhanalaiseksi, että se on pidettävä jatkuvasti suojattuna. Esimerkkeinä tällaisista kohteista voisivat toimia lentoasemat, tärkeimmät esikunnat ja valtion ylimmän johdon työtilat. Käyttötilannetyyppeihin liittyvät esimerkiksi tapaus Gatwickin lentoasema (häirinnän jälkeen), tapaus Reswan Ferdaus, skenaario 6 ja tietyn reunaehdoin skenaario 5.

Kiinteiden kohteiden suojauksessa merkittäviä tekijöitä ovat mahdollisuus asentaa komponentteja kiinteästi esimerkiksi rakennuksiin tai mastoihin, mikä mahdollistaa kestävästi järjestelmän, jonka suorituskyky pystytään optimoimaan. Suojattavien kohteiden ympärillä on lähtökohtaisesti ilmailulta rajoitettu alue, joka on pysyvä ja näin ollen lähtökohtaisesti lennättäjien tiedossa. Pysyvä rajoitusalue ja siihen liittyvä lennokkivalmistajien geofencing vähentävät suojatulle alueelle päätyvien neutraalien lennokkien määrää. Lentokieltoalueen sisäpuolella olevia kaikkia muita kuin viranomaisten omia lennokkeja voidaan tarvittaessa pitää vihamielisinä, mikä helpottaa torjuntapäätöksen tekemistä.

Tilapäisten kohteiden ennakoivalla suojauksella tarkoitetaan käyttötilannetta, jossa viranomaiset ovat riskiarvion perusteella todenneet, että lennokkiuhka on tilapäisesti jollakin alueella tietynä ajanhetkenä korostunut ja lennokintorjuntajärjestelmä siirretään alueelle etukäteen. Esimerkkeinä tällaisista käyttötilanteista voisivat olla valtiovierailuiden, suurten yleisötapahtumien ja perustamisen suojaaminen. Käyttötilannetyyppeihin liittyvät esimerkiksi tapaus Angela Merkel, tapaus Maduro, skenaariot 1 ja 4.

Tilapäisten kohteiden ennakoivassa suojauksessa korostuu riskianalyysi. Kaikkea ei ole mahdollista suojata ja tilapäiseen kohteeseen sijoitettu järjestelmä on poissa toisaalta. Mikäli ennakointi kuitenkin on onnistunut ja lennokintorjuntajärjestelmä on saatu asennettua ajoissa, sen suorituskyky ei välttämättä laske merkittävästi verrattuna kiinteiden kohteiden suojaukseen. Merkittävimpinä eroina ehkä virransaanti, asennusten alttius olosuhteille sekä niiden optimointi. Lopputuloksena saattaa muodostua suurempia katveja tai järjestelmä vaatii tavanomaista enemmän huoltoa ja valvontaa.

Tilapäisten kohteiden reagoivalla suojauksella tarkoitetaan käyttötilannetta, jossa lennokkiuhkaa ei ole onnistuttu ennakoimaan, vaan lennokki tai lennokit ovat alueella ensin ja lennokintorjuntajärjestelmä siirretään alueelle torjumaan jo havaittua uhkaa. Toiminnan ollessa reagoivaa ja hälytysluontoista voi suojattava kohde olla mikä tahansa lennokkitoiminnan kohteena oleva alue. Käyttötilannetyyppeihin liittyvät esimerkiksi tapaus Gatwickin lentoasema (häirinnän aikana) sekä skenaariot 2,3 ja 7.

Tilapäisten kohteiden reagoivassa suojauksessa korostuu lennokintorjuntajärjestelmän liikkuvuus ja liikkeellelähtövalmius. Reagoivassa käytössä on ratkaiseva ero sillä, saadaanko järjestelmä paikalle minuuteissa, tunneissa vai vuorokausissa. Viive lennokintorjuntajärjestelmän saamisessa paikalle voi johtua monista seikoista, kuten siitä, miten nopeasti päätös järjestelmän käytöstä tehdään, miten kaukana lähin järjestelmä on tapahtumapaikasta, onko reservissä käyttövalmis järjestelmä vai joudutaanko se irrottamaan toisesta tehtävästä ja onko järjestelmän käyttöön tarvittava henkilöstö valmiudessa vai ei. Tämän tutkimuksen näkökulma on kuitenkin tekninen vaatimusmäärittely, joten tässä keskitytään lähinnä järjestelmän sisäsyn-tyiseen siirtonopeuteen, eli siihen miten nopeasti lennokintorjuntajärjestelmä kyetään siirtämään uuteen kohteeseen sekä ottamaan siellä käyttöön. Järjestelmän ollessa ajoneuvoasentei-nen huomioidaan lavetin liikkuvuus ja nopeus ja mikäli järjestelmä taas ei ole ajoneuvoasen-teinen huomioidaan se, millaisilla kuljetusvälineillä se voidaan siirtää.

4.6. Taulukko käyttötilannetyypeistä

Taulukossa käyttötilannetyypit on kuvattu avainsanoilla kiinteä, ennakoiva ja reagoiva. Lisä-huomiot on kirjattu suluissa olevalla kirjaimella ja selite on taulukon alla. Jos toimijaksi on merkitty muu kuin Puolustusvoimat tai sen alainen joukko, on tämän tutkimuksen piirissä aina kyse virka-aputehtävästä.

Tapaus tai skenaario	Käyttötilannetyyppi	Toimijat
Tapaus Merkel	Ennakoiva (a)	Poliisi
Tapaus Maduro	Ennakoiva	Poliisi, PV
Tapaus Khmeimim	Kiinteä	Lennosto
Tapaus Gatwick	Kiinteä (b), reagoiva	Trafi, poliisi
Tapaus Salakuljetus	Kiinteä (c), reagoiva (d)	Rajavartiolaitos, vankeinhoi- tolaitos, poliisi
Tapaus Reswan Ferdaus	Kiinteä	Poliisi, PV
Tapaus Aum shinrikyo	Reagoiva, Ennakoiva (e)	Poliisi
Tapaus Daesh (f)	Kiinteä, ennakoiva, reagoiva	PV, poliisi
Skenaario 1	Ennakoiva, kiinteä (l)	Poliisi

Skenaario 2	Ennakoiva (g), reagoiva (h)	Rajavartiolaitos, Poliisi, Trafi
Skenaario 3	Reagoiva	Poliisi
Skenaario 4	Ennakoiva, kiinteä (i)	Poliisi, PV (j)
Skenaario 5 (k)	Kiinteä, ennakoiva, reagoiva	Viranomaiset
Skenaario 6 (k)	Kiinteä, ennakoiva, reagoiva	Viranomaiset
Skenaario 7	Ennakoiva, reagoiva	Poliisi

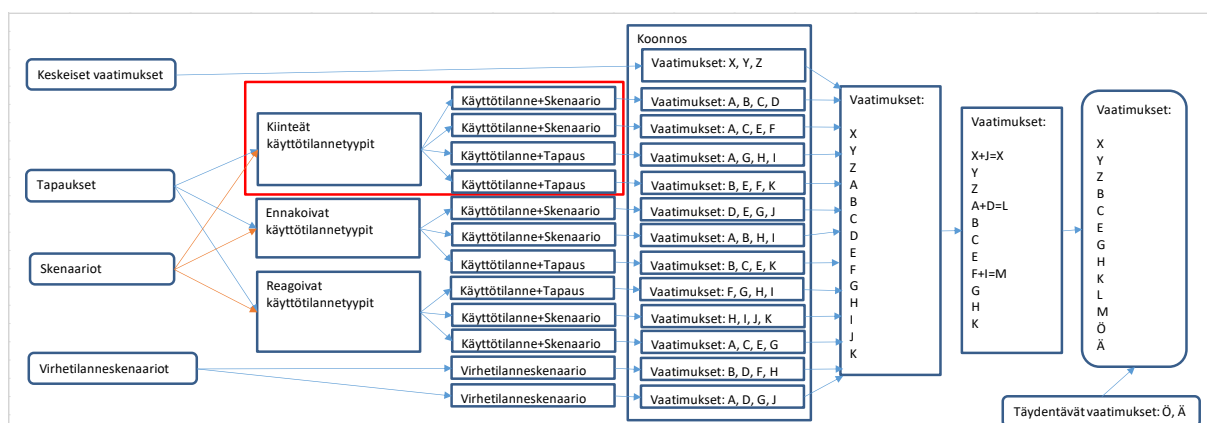
Taulukko 2: Käyttötilannetyypit

- a) Todellisuudessa tilannetta ei ennakoitu, mutta se olisi ollut ennakoitavissa oikealla riskianalyysillä, kuten tapaus Maduro osoittaa.
- b) Gatwickin kentälle asennettiin tapauksen jälkeen kiinteä järjestelmä.
- c) Vankilan tapauksessa kiinteä järjestelmä on mahdollinen, valtionrajan tapauksessa käytännössä ei.
- d) Valtakunnanrajan pituuden takia haastavaa, mutta havaittuun salakuljetusreittiin pystytettiin reagoimaan.
- e) Ennakointi olisi edellyttänyt viranomaisille ennakkotietoa hankkeesta ja sen kohteesta.
- f) Lukuisia tapauksia erilaisiin kohteisiin. Kaikki käyttötilanteet edustettuina.
- g) Ennakointi olisi mahdollista, mikäli järjestelmää käytettäisiin osana perustaistelumenetelmää.
- h) Aikaikkuna reagointiin voi olla epärealistisen lyhyt.
- i) Kiinteä järjestelmä on realistinen vaihtoehto vain sellaisissa kohteissa, joissa järjestetään riittävän suuria tapahtumia säännöllisesti. Siviilitoimijan mahdollisuus suojata oma toimintansa jätetään tämän tutkimuksen ulkopuolelle.
- j) Tapaus saattaa koskea Puolustusvoimia myös taisteluaine-epäilyn vuoksi.
- k) Potentiaalisia kohteita on useita, samoin kohteena olevia toimijoita. Kaikki käyttötilannetyypit ovat edustettuina jossain skenaarion eri varianteista.

1) Skenaarion 1 kiinteässä käyttötilanteessa lennokin toiminta perustuu skenaarioon 1, mutta paikka on alkuperäistä rajatumpi. Kiinteä järjestelmä on realistinen vaihtoehto vain sellaisissa kohteissa, joissa järjestetään riittävän suuria tapahtumia säännöllisesti ja jotka ovat riittävän pieniä. Kaupungin keskustan kokoisen alueen suojaaminen kiinteästi Suomessa on epärealistinen ajatus.

4.7. Kiinteiden käyttötilannetyyppien vaatimusmäärittely

Vaikka osa todellisista tapauksista on sattunut ulkomailla ja mahdollisesti osittain tämän tutkimuksen rajausten ulkopuolella, katsotaan niitä tässä luvussa siirrettynä Suomalaiseen rakennettuun rauhan ajan ympäristöön. Jokaisesta tapauksesta ja skenaariosta esitetään tekstissä merkittävimmät vaatimukset perusteluineen. Alla olevassa vaatimusmäärittelyn prosessia havainnollistavassa vuokaaviossa on kehystetty punaisella värillä kiinteiden käyttötilannetyyppien vaatimusten määrittäminen.



Kaavio 3: Prosessin vaihe määriteltäessä kiinteiden käyttötilannetyyppien vaatimuksia

Tapaus Khmeimim

Tapauksen sijoittuminen kohteeseen, jossa on runsaasti omaa lentotoimintaa asettaa rajoituksia lennokintorjuntajärjestelmälle. Järjestelmän käyttö ei saa vaarantaa luvallisia miehitettyjä tai miehittämättömiä ilma-aluksia. Tapauksen kohde on laaja, joten suojaustoimenpiteet eivät voi helposti kattaa koko aluetta, vaan järjestelmän on todennäköisesti suojattava useampia pienempiä osia alueesta. Tapauksen lennokit olivat varsin suurikokoisia, mikä asettaa mekaanisille pudotusmenetelmille tehokkuusvaatimuksia. Koska asekuorma oli rakennettu toimaan sen osuessa maahan, on tärkeää kyetä arvioimaan pudotetun lennokin putoamispaikka ja tarvittaessa lykätä pudotusta lisätappioiden välttämiseksi.

Tapaus Gatwickin lentoasema

Kuten Khmeimiminkin kohdalla, tapauksen sijoittuminen kohteeseen, jossa on runsaasti omaa lentotoimintaa asettaa rajoituksia lennokintorjuntajärjestelmälle. Järjestelmän käyttö ei saa vaarantaa kohteen normaalia lentotoimintaa. Suojattava alue jatkuu myös lentoaseman ulkopuolelle nousu- ja laskukäytävien alueelle, jotka on vähintäänkin kyettävä valvomaan.

Tapaus salakuljetus

Salakuljetustapauksesta on vaatimusmäärittelyn näkökulmasta valittu tilanne, jossa lennoilla yritetään salakuljettaa tavaraa vankilaan tai vastaavaan paikkaan. Valtakunnanrajan kiinteä suojaaminen lennokeilta on tämän tutkimuksen rajausten ulkopuolella. Vankilan tapauksessa huomioidaan kaksi vaihtoehtoista salakuljetusmenetelmää. Ensimmäisessä lennokka lentää vankilan muurien yli, laskeutuu, jättää kuormansa ja poistuu. Toisessa lennokka lentää vankilan ylle, pudottaa kuormansa muurien sisäpuolelle ja poistuu alueelta. Tärkeänä vaatimuksena on tapauksen rikostutkinnallinen dokumentointi ja mahdollisuus takavarikoida lasti. Lennokin pudottamiseen ei välttämättä ole perusteita. Koska lennokka saattaa lähteä lentoon lähes kohteen vierestä ja pyrkii ylittämään muurit mahdollisimman nopeasti ja huomaamattomasti asettaa tapaus tiukempia vaatimuksia järjestelmän havainnointikyvyille.

Tapaus Reswan Ferdaus

Tapauksen lennokka on pieni kiinteäsiipinen lennokka, jonka voidaan olettaa olevan erittäin nopea. Lennokin nopeus voi olla jopa 50-90 m/s [89], mikä vaikuttaa vaatimuksiin. Koska tapauksen lennokeissa on asekuorma, joka saattaa toimia lennokin osuessa pudotuksen jälkeen maahan, on putoamispaikka kyettävä arvioimaan ja tarvittaessa lykättävä pudotusta lisätappioiden välttämiseksi. Kiinteäsiipisen lennokin tapauksessa joudutaan myös huomioimaan, että vaikka työntövoima katoaisi, voi lennokka edelleen liittää kauaskin, toisin kuin multikopteri, jonka noste syntyy suoraan työntövoimasta.

Tapaus Daesh

Kiinteässä käyttötilannetyypissä on valittu tilanne, jossa ohjatusta kamerakopterista pudotetaan pieni iskusytyttimellinen räjähdekuorma kohteeseen. Vaatimusmäärittelyn näkökulmasta huomioitavina asioina pudotetun lennokin vaarallisuus putoamispaikalle sekä tapauksen rikostutkinnalliset vaatimukset. Kohteeseen lentävä ja siellä räjähtävä lennokka on käsitelty skenaarion 1 kohdalla.

Skenaario 1

Vaatimusmäärittelyn näkökulmasta alkuperäinen skenaario 1 on ongelmallinen, sillä suojattava alue on kiinteän suojauksen näkökulmasta epärealistinen. Skenaarion 1 vaikutusmekanismi ja lennokin toiminta ovat kuitenkin tunnistettavissa uhaksi myös alkuperäisen skenaarion 1 ulkopuolella. Vaatimusmäärittelyssä skenaario 1 on siirretty skenaarion 4 suojattavaan kohteeseen, mutta muuten noudatetaan skenaarion 1 kulkua. Tässäkin tapauksessa asekuorman toiminta pudottamisen jälkeen tai yhteydessä luo vaatimuksia lennokintorjuntajärjestelmälle. Torjuntajärjestelmän käytön ei myöskään itsessään tulisi aiheuttaa paniikkia suojattavassa kohteessa.

Skenaario 4

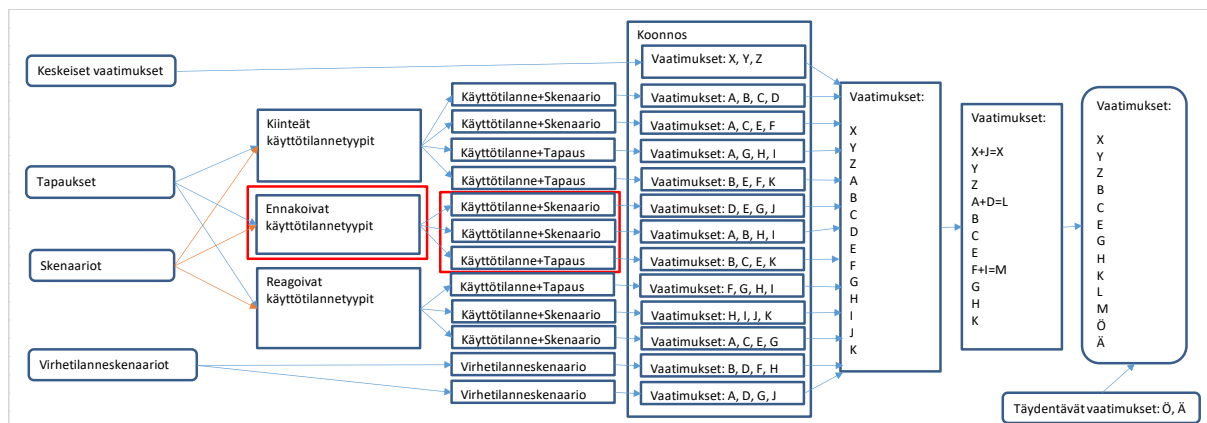
Vaatimusmäärittelyn näkökulmasta skenaario 4 on hyvin samankaltainen kuin skenaario 1. Todellisuudessa erona olisi mahdollisuus aloittaa torjuntatoimet vielä senkin jälkeen, kun lennokka on aloittanut iskun toteuttamisen, toisin kuin skenaariossa 1, jossa jo räjähtänyttä lennokkia ei enää voida torjua. Vaikka lennokka torjuttaisiinkin vasta sen ehdittyä aloittaa iskunsa, voitaisiin silti tällä myöhässä aloitetulla torjunnalla saada vähennettyä iskun vaikutusta merkittävästi. Skenaariossa 4 korostuu se, ettei torjuntajärjestelmän käytön tulisi itsessään aiheuttaa paniikkia. Pahimmillaan iskun tavoitteeseen voitaisiin päästä jo vaarattomalla lennokilla, joka provosoi torjunnan ja aiheuttaa paniikin. Vaatimuksiin edellä mainittujen asioiden kirjaaminen on kuitenkin vaikeaa, erojen ollessa lähinnä taktisia eivätkä niinkään teknisiä.

Skenaario 5 ja skenaario 6

Kiinteän kohteen suojaamisen tapauksessa skenaarioiden 5 ja 6 vaatimukset ovat identtiset. Molemmissa skenaarioissa torjutaan lavettina toimivaa lennokkia. Sen kuorma ei muodosta välitöntä vaaraa hengelle ja terveydelle, vaan on tiedustelulaitteistoa. Lennokka ei välttämättä lennä kohteen välittömään läheisyyteen, vaan pysyttelee mahdollisesti jopa lentokieltoalueiden ulkopuolella. Vaatimusten näkökulmasta tämä edellyttää mahdollisuutta voimankäytön porrastamiseen ja rikostutkinnallisen näytön keräämiseen.

4.8. Ennakoivien käyttötilannetyyppien vaatimusmäärittely

Vaikka osa todellisista tapauksista on tapahtunut ulkomailla ja mahdollisesti osittain tämän tutkimuksen rajausten ulkopuolella, katsotaan niitä tässä luvussa siirrettynä suomalaisen rakennettuun rauhan ajan ympäristöön. Jokaisesta tapauksesta ja skenaariosta esitetään tekstissä merkittävimmät vaatimukset perusteluineen. Alla olevassa vaatimusmäärittelyn prosessia havainnollistavassa vuokaaviossa on kehystetty punaisella värillä ennakoivien käyttötilannetyyppien vaatimusten määrittäminen.



Kaavio 4: Prosessin vaihe määriteltäessä ennakoivien käyttötilannetyypien vaatimuksia

Tapaukset Angela Merkel ja Maduro

Vaatimusmäärittelyn näkökulmasta tapaus Angela Merkel ja tapaus Maduro ovat identtiset. Molemmissa tapauksissa kohteena oli yleisötilaisuudessa puhumassa ollut merkittävä poliitikko. Tapausten ero on siinä, että Merkelin kohdalla uhka oli hypoteettinen ja Maduron kohdalla konkreettinen. Vaatimusten näkökulmasta kuitenkin kumpaakin uhkaa on käsiteltävä samalla vakavuudella eli vaarallisen mukaan. Molemmissa tapauksissa lennokka saattaa lähestyä kohdettaan varsin matalalla yleisön yläpuolella, mikä lisää vaatimuksia torjuntajärjestelmälle. Riski torjuntajärjestelmän aiheuttamaan kollateraaliseen vahinkoon on kyettävä minimoimaan.

Tapaus Aum shinrikyo

Vaatimusmäärittelyssä tapausta Aum shinrikyo tutkitaan yksittäiseen henkilöön kohdistuvan salamurhan näkökulmasta. Järjestelmällä tulisi siis kyetä suojaamaan myös yksittäisiä henkilöitä, mikäli viranomaisilla on syytä olettaa, että heitä kohtaan on suunnitteilla lennokka-isku. Koska järjestelmää on muissa tapauksissa suunniteltu käytettävän alueiden suojaamiseen ja järjestelmä on todennäköisesti kallis, on yksittäisten henkilöiden pitkäaikainen suojaaminen koko järjestelmällä kustannustehokkuuden näkökulmasta haastavaa. Tämän ongelman kiertämiseksi voitaisiin henkilösuojaustehtävissä käyttää vain osaa järjestelmästä, joka säästäisi resursseja, mutta antaisi uhkaan nähden riittävän suojan. Esimerkiksi riittävän ajoissa saatu varoitus lähestyvistä lennokista voi olla henkilösuojaustehtävässä riittävää, koska kohde voi suojautua toisin kuin muissa tapauksissa ja skenaarioissa. Tämä näkyy torjuntajärjestelmän vaatimuksena toimia myös riisutussa kokoonpanossa. Henkilösuojauksessa myös huomiota herättämättömyys voi olla eduksi.

Tapaus Daesh

Tapaus Daeshin kohdalla torjuntajärjestelmän kiinteän ja ennakoivan käytön suorituskykyvaatimukset järjestelmän käyttöönoton jälkeen eivät eroa toisistaan, sillä sekä uhka että kohde ovat samankaltaiset. Erot muodostuvat ennakoivan käytön yleisistä vaatimuksista, kuten purkamisen ja kokoamisen nopeusvaatimuksista sekä kuljetettavuudesta.

Skenaario 1, skenaario 4 ja skenaario 6

Vaatimusmäärittelyn näkökulmasta skenaarioissa 1,4 ja 6 ei ennakoivan käyttötilannetyypin ja kiinteän käyttötilannetyypin välillä ole muita kuin ennakoivan käytön yleisistä vaatimuksista johtuvia eroja. Todellisuudessa käyttötilanne saattaisi olla jotain kiinteän ja ennakoivan välimaastosta, jossa lennokintorjuntajärjestelmä asennetaan useita kertoja vuodessa samoihin valmisteltuihin paikkoihin, mutta joista se kuitenkin puretaan pois, kun uhka ei ole korostunut.

Skenaario 2

Vaatimusmäärittelyn näkökulmasta skenaarion 2 ennakoiva käyttö on haasteellinen. Koska tehtävässä toimivan helikopterin käyttämää ilmatilaa on vaikea etukäteen määritellä ja helikopteri liikkuu nopeasti, ei maa-asenteinen järjestelmä ole välttämättä toimiva ratkaisu. Skenaarion 2 ennakoiva torjuminen edellyttäisi todennäköisesti helikopteriin itseensä asennettavaa lennokkeja vastaan suunnattua omasuojajärjestelmää. Se olisi osana kopterin tavanomaisesta perusvarustusta tai se otettaisiin mukaan tehtäviin, jossa lennokkiuhkaa pidetään todennäköisenä. Vaatimusten ollessa hyvin erilaisia kuin muissa tämän tutkimuksen tapauksissa ja skenaarioissa, olisi ilma-aluksen omasuojaan käytettävä lennokintorjuntajärjestelmä oma tuotensa omilla vaatimuksillaan. Näillä perusteilla skenaarion 2 ennakoiva, vaatimukset jätetään tässä tutkimuksessa huomioimatta ja jätetään jatkotutkimuskysymykseksi. Todellisuudessa hankittaessa lennokintorjuntajärjestelmää Suomeen olisi kenties edullista, mikäli aihepiirin hankkeet tekisivät yhteistyötä.

Skenaario 5

Skenaarion 5 ennakoivan käyttötilannetyypin sekä reagoivan käyttötilannetyypin rajanveto voi olla häilyvää. Valetukiaseman lavettina toimiva lennokki on uhka, jonka ennakointi ilman herätettä voi olla vaikeaa ja mikäli heräte on jo saatu, voidaan käyttöä pitää myös reagoivana. Tässä tapauksessa erottavana tekijänä pidetään sitä, onko tässä käytössä oleva lennokki ope-roimassa suojattavalla alueella lennokintorjuntajärjestelmän käytöstä päätettäessä. Mikäli on, niin kyseessä on reagoiva käyttötilannetyypin ja mikäli taas ei, niin kyseessä on ennakoiva

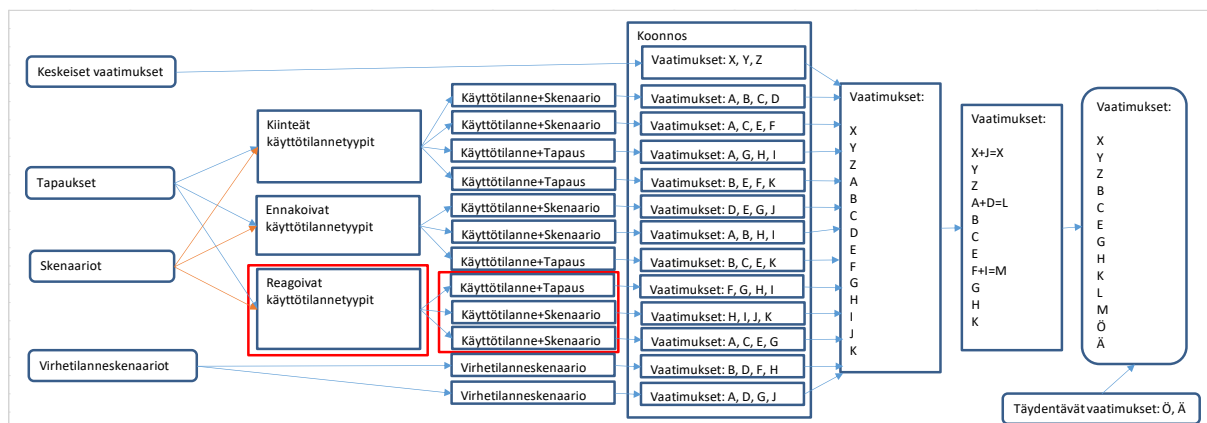
käyttötilanne. Todellisessa tilanteessa, jossa järjestelmää käytetään voisi käytön perusteena olla joku toinenkin uhkakuva. Onnistuneen torjunnan jälkeen paljastuisi, että lennokki olikin valetukiaseman lavettina. Skenaariossa 5 korostuu järjestelmän kyky tukea rikostutkintaa.

Skenaario 7

Ennakoiva käyttötilannetyyppi saattaa syntyä skenaariossa 7 joko sitä kautta, että järjestelmälä suojataan jotakin tiettyä kohdetta useilta erilaisilta lennokkipohjaisilta uhkamalleilta ja ampuma-aseen lavettina toimiva lennokka on osa tätä uhkakirjastoa tai erityisesti varauduttaessa skenaarioon 7 jonkin herätteen pohjalta. Herätteenä skenaarioon 7 voisi olla esimerkiksi uhkaus tällaisen lennokin käytöstä. Toinen vaihtoehto voisi olla tiedustelutieto tällaisen lennokin olemassaolosta, jolloin osana ratsiaa voitaisiin lennokintorjuntajärjestelmää käyttää viranomaisten omasuojaan. Vaatimusten kannalta merkittävänä erona muihin skenaarioihin on ampuma-aseen lavettina toimivan lennokin liikehtimiskyky, mahdollisuus vaihtaa kohdetta ja paeta vastarintaa kohdatessaan. Tämä asettaa onnistuneelle torjunnalle vaatimuksen estää kohteen vaihto suojaamattomalle alueelle. Järjestelmän ei tulisi myöskään paljastua hyökkääjälle ennen torjuntaa, koska järjestelmän havaitseminen voi ohjata hyökkäyksen suojaamattomalle alueelle.

4.9. Reagoivien käyttötilannetyyppien vaatimusmäärittely

Vaikka osa todellisista tapauksista on tapahtunut ulkomailla ja mahdollisesti osittain tämän tutkimuksen rajausten ulkopuolella, katsotaan niitä tässä luvussa siirrettynä suomalaisen rakennettuun rauhan ajan ympäristöön. Jokaisesta tapauksesta ja skenaariorista esitetään tekstissä merkittävimmät vaatimukset perusteluineen. Alla olevassa vaatimusmäärittelyn prosessia havainnollistavassa vuokaaviossa on kehystetty punaisella värillä reagoivien käyttötilannetyypien vaatimusten määrittäminen.



Kaavio 5: Prosessin vaihe määriteltäessä reagoivien käyttötilannetyyppien vaatimuksia

Tapaus Gatwickin lentoasema

Gatwickin lentoasema tapauksessa viranomaisten omat lennokit aiheuttivat uusia lennokkaivaintoja, mikä johti tilanteen pitkittymiseen. Tilanteessa, jossa etsitään lennokkia ja lennättäjää on erittäin tärkeää kyetä tunnistamaan omat lennokit tai havainnot niistä. Vaatimusmäärittelyssä tämä näkyy vaatimuksena omatunnistejärjestelmästä.

Tapaus salakuljetus

Reagoivassa käyttötilannetyypissä lähestymiskulmana on ollut havaittu salakuljetusreitti, johon reagoidaan tuomalla lennokintorjuntajärjestelmä alueelle. Vaatimusmäärittelyn näkökulmasta erot kiinteän ja reagoivan käyttötilannetyypin välillä tapaus salakuljetuksessa ovat yleisellä tasolla. Todellisuudessa reagoivassa käyttötilannetyypissä saatettaisiin kyetä käyttämään resursseja painopisteessä ja näin saavuttamaan suurempi suorituskky, mutta vain väliaikaisesti. Myös tehtävän taktiset tavoitteet saattavat olla erilaiset. Mikäli järjestelmää suunnitellaan käytettäväksi salakuljetuksen estämiseen, tulisi vaatimuksia pisteytettäessä määritellä kumpi on tärkeämpää, salakuljettajien kiinni saaminen vai kuljetuksen pysäyttäminen. Tässä tutkimuksessa ei tähän kuitenkaan oteta kantaa.

Tapaus Aum shinrikyo

Ennakoivan ja reagoivan käyttötilannetyypin erot vaatimusmäärittelyssä ovat lähinnä yleisellä tasolla, sillä myös reagoiva käyttö edellyttää ennakointia. Todellisuudessa reagoiva käyttö voisi tarkoittaa tilannetta, jossa useampaan henkilöön kohdistuu uhka, mutta iskun tarkka kohde ei ole viranomaisilla tiedossa. Resurssit eivät riitä kaikkien kohteiden suojaamiseen, joten järjestelmä siirretään korkeaan valmiuteen, sellaiseen paikkaan, josta se pystytään nopeasti siirtämään minkä tahansa oletetuista kohteista luokse. Kun lennokkiuhan toteutumisesta tai suuntautumisesta saadaan havainto, järjestelmä siirretään toiminta-alueelleen, jolloin käyttö on pahimmillaan reagoivaa.

Tapaus Daesh

Tapaus Daeshin kohdalla torjuntajärjestelmän reagoivan käytön suorituskky-vaatimukset eivät eroa muista käyttötilannetyypeistä merkittävästi, sillä sekä uhka että kohde ovat samankaltaiset. Tärkeimpinä eroina ovat yleiset vaatimukset reagoivalle toiminnalle, erityisesti kyky toimia liikkeestä, jolla pystytään lyhentämään viivettä reagoivassa tapauksessa.

Skenaario 2

Reagoivassa käyttötilannetyypissä skenaarion 2 osalta vaatimukset ovat pääpiirteissään samat kuin ennakoivassakin käyttötilannetyypissä. Eroina on kuitenkin vaatimus kyvyille toimia liikkeestä sekä vaatimus omien lennokkien käytön mahdollistamisesta. Helikopteriasenteisuu-teen liittyvät vaatimukset hylätään.

Skenaario 3

Skenaario 3 on ainoa skenaario, jonka kohdalla todettiin vain yksi käyttötilannetyyppi. Kohteen ja tehtävän luonne pakottavat reagoivaan toimintaan. Skenaario 3:n tapauksessa erityisesti korostuvat vaatimukset kyvystä takaa-ajoon ja lennokin poistumisen estämiseen suojatulta alueelta. Monissa muissa tapauksissa lennokki voidaan katsoa torjutuksi myös käännettämällä se alueelta, mutta tässä tapauksessa lennokin poistuminen halutaan estää. Järjestelmän tulisi myös kyetä takaa-ajoon, mikäli sitä ei saada ajoissa paikalle. Kolmantena korostuvana vaatimuksena on kyky toimia samanaikaisesti useampia erilaisia ja eri tehtävää suorittavia lennokkeja vastaan.

Skenaario 5

Verrattuna ennakoivaan käyttötilannetyypisiin, reagoivassa käyttötilannetyypissä, tulee skenaariossa 5 uutena vaatimuksena kyky toimia liikkeestä.

Skenaario 6

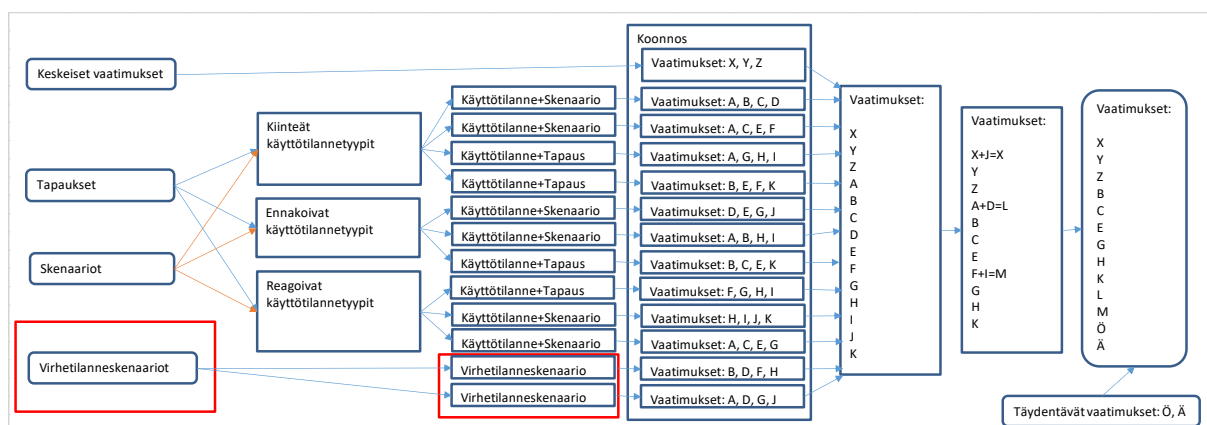
Vaatimukset reagoivan ja ennakoivan käyttötilannetyypin välillä ovat identtiset.

Skenaario 7

Skenaarion 7 tapauksessa reagoiva käyttö on ennakoivaa aktiivisempaa. Reagoivassa käyttötilannetyypissä järjestelmä on paikallaan ja pudottaa lennokin, samaan tapaan kuin muissakin skenaarioissa. Reagoivassa käyttötilannetyypissä taas ajetaan takaa ja etsitään liikkuvaa maalia, joka on jatkuvasti vaarallinen ja joka kykenee vaihtamaan kohdetta. Aktiivinen käyttö lisää järjestelmälle huomattavasti lisää vaatimuksia, joista tärkeimpinä kyky toimia liikkeestä sekä kyky jäljittää lennokkia. Uutena vaatimuksena on myös lennokin lähettämän datan kaappaaminen. Parhaassa tapauksessa tätä dataa kyetään käyttämään lennokin paikantamiseen tai vastatoimien organisoimiseen.

4.10. Virhetilanneskenaariot ja niiden vaatimusmäärittely

Tässä luvussa on määritetty kolme virhetilanneskenaariota, joissa lennokintorjuntajärjestelmä tekee vaarantavan virheen. Koska tässä vaiheessa vaatimusmäärittelyä ei teknistä toteutusta ole vielä valittu, on virheskenaariot kirjoitettu mahdollisimman yleispäteviksi. Virhetilanneskenaarioiden avulla pyritään löytämään sellaisia vaatimuksia, joita ei havaita tarkastelemalla vain onnistumisia. Alla olevassa vaatimusmäärittelyn prosessia havainnollistavassa vuokaaviossa on kehystetty punaisella värillä virhetilanneskenaarioiden vaatimusten määrittäminen.



Kaavio 6: Prosessin vaihe määriteltäessä virhetilanneskenaarioiden vaatimuksia

Virhetilanneskenaario 1

Lennokintorjuntajärjestelmä on asennettu suojaamaan kohdetta. Järjestelmä pitää kohdetta lähestyvää lennokkia uhkana ja pudottaa sen. Myöhemmin todetaan pudotuksen olleen aiheeton ja aiheuttaneen vaaratilanteen lennokin tippuessa hallitsemattomasti katualueelle.

Jotta oikealle pudotuspäätökselle luodaan edellytykset, on lennokintorjuntajärjestelmän käyttäjällä oltava käytössään riittävästi informaatiota. Lennokki tulee kyetä tunnistamaan tarkasti, sen vaarallisuus tulisi olla arvioitavissa ja sen sijainti, liikesuunta, nopeus sekä arvioitu pudotamiskohta tulee olla torjuntajärjestelmän operaattorin tiedossa.

Virhetilanneskenaario 2

Lennokintorjuntajärjestelmä on asennettu suojaamaan kohdetta. Järjestelmä havaitsee kohdetta lähestyvän lennokin ja pitää sitä uhkana. Järjestelmä käyttää elektronisen sodankäynnin keinoja lennokin torjumiseen ja onnistuu torjunnassa. Jälkeenpäin selviää, että vastatoimet ovat aiheuttaneet vakavia häiriöitä ja laitevikoja suojattavan alueen ulkopuolella. Vahinkoja tuli kaupallisen lähettipalvelun sekä valtakunnallisen uutispalvelun lennokkiin, langattomien yhteyksien häiriöt aiheuttivat ongelmia useissa sovelluksissa alueen rakennuksissa.

Käytettäessä elektronisen sodankäynnin keinoja rakennetulla alueella rauhan aikana ja vaikutuksen keskittyessä siviilien yleisesti käyttämille taajuuksille, on odotettavissa, että järjestelmän käytöllä on jotain vaikutuksia myös suojattavan alueen ulkopuolella. Vaikutus pitäisi kuitenkin pystyä keskittämään tarkoitettuun maaliin ja tällaiset sivuvaikutukset tulisi minimoida.

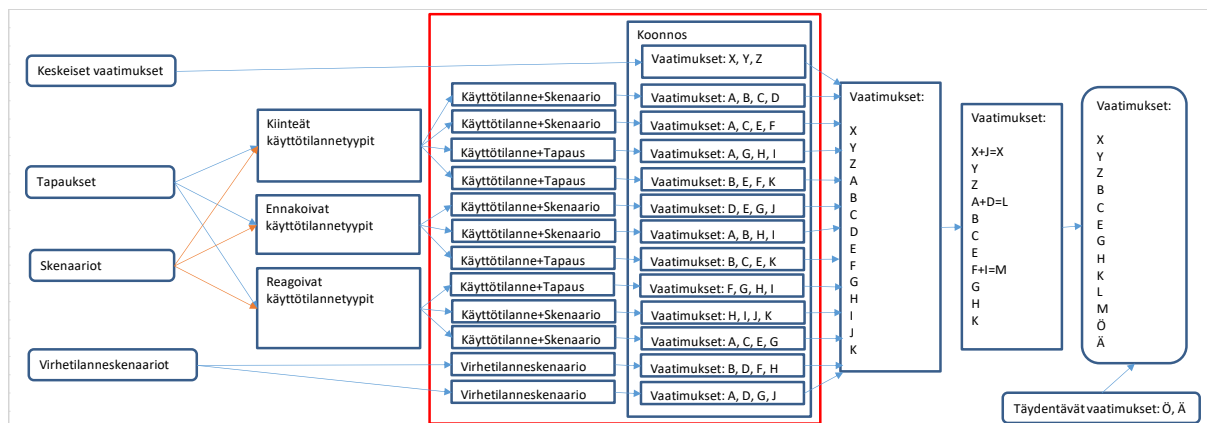
Virhetilanneskenaario 3

Lennokintorjuntajärjestelmä on asennettu suojaamaan kohdetta. Järjestelmä havaitsee kohdetta lähestyvän lennokin ja pitää sitä uhkana. Lennokintorjuntajärjestelmä pudottaa lennokin. Pudotukseen käytetty menetelmä aiheuttaa lennokin välittömässä läheisyydessä olevaan rakennukseen vaurioita ja yksi ikkunan ääressä seissyt henkilö saa sairaalahoitoa vaativia vammoja.

Käytettäessä torjuntamenetelmää, joka on potentiaalisesti vaarallinen ihmisille ja muille kohteille kuin lennokeille, tulee huomioida takavaara-alueet sekä maalin välitön ympäristö. Sekä lennokista ohi menneen, että lennokin läpäisseen torjunnan vaikutukset on kyettävä arvioimaan ennen torjuntapäätöksen tekemistä. Lennokintorjuntajärjestelmän tulee tarjota riittävä tieto päätöksen tueksi järjestelmän operaattorille.

4.11. Vaatimusten kokoaminen

Vaatimukset koottiin skenaariotekniikalla luomalla Excel-taulukko jossa kullekin luvussa 5.5 mainitulle tapauksen tai skenaarion ja käyttötilannetyypin yhdistelmällä oli oma välilehtensä. Lisäksi taulukossa oli yksi välilehti luvun 5.2 keskeisille suorituskyykyvaatimuksille ja kolme välilehteä virhetilanneskenaarioiden vaatimuksille. Näin saatiin aikaiseksi 32 välilehteä, joista kullekin kirjattiin vaatimukset lennokin torjuntajärjestelmälle nimetyssä tapaus/skenaario ja käyttötilannetyypissä. Kaikilta välilehdiltä kerättiin vaatimukset yhteen uuteen koostetaulukoon. Koostetaulukossa on jokaisen vaatimuksen kohdalla kirjattu jäljitettävyystiето sarakkeeseen mihin tapaus/skenaario-käyttötilannetyypin -yhdistelmään se perustuu. Tässä vaiheessa vaatimuksia oli kirjattu 315 kappaletta. Alla olevassa vaatimusmäärittelyn prosessia havainnollistavassa vuokaaviossa on kehystetty punaisella vaatimusten kokoaminen koostetaulukoon.



Kaavio 7: Prosessin vaihe koottaessa vaatimuksia

Seuraavaksi vaatimukset siirrettiin uuteen taulukkoon, jossa sanatarkasti identtiset vaatimukset yhdistettiin ja jäljitettävyyssiato sarakkeeseen päivitettiin kaikkien saman vaatimuksen esittäneiden tapaus/skenaario-käyttötilannetyypin -yhdistelmien tiedot. Tämän toimenpiteen jälkeen vaatimuslista lyheni 139 yksittäiseen vaatimukseen. Tässä vaiheessa myös vaatimuksille luotiin yksilöivät diaarinumerot. Vaatimukset oli jaoteltu 50 vaatimukseen, sekä niitä tarkentaviin vaatimuksiin. Vielä tässä vaiheessa torjuttavien lennokkien ominaisuuksia ei ollut yhdistetty, sillä ne eivät olleet sanatarkkoja kopioita. Tämä taulukko on tutkimuksen liitteenä 2. Torjuttavien lennokkien ominaisuuksien keräämiseksi siirrettiin tiedot jälleen uuteen taulukkoon, jossa lennokkien asettamat vaatimukset yhdistettiin yhden vaatimuksen alle alavaatimuksiksi. Lopputuloksena oli uusi vaatimus 52 ”Järjestelmän pitää kyetä torjumaan pieni kaupallinen lennokki” sekä sen 21 alavaatimusta. Vaatimus 52 alavaatimuksineen korvasi vaatimukset 11, 12, 20, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 ja 51 alavaatimuksineen. Yhdistämisen jälkeen jäljelle jäi 113 yksittäistä vaatimusta jaettuna 36 vaatimukseen ja niiden alavaatimuksiin.

Osa vaatimuksen 52 alavaatimuksista, kuten vaatimus 52.5.3 ” Järjestelmän pitää kyetä torjumaan samanaikaisesti 2 kpl lennokkeja” ja 52.5.1 ” Järjestelmän pitää kyetä torjumaan 13 lennokkia samanaikaisesti” voidaan yhdistää ja korvata uudella vaatimuksella 52.5.5 ”Järjestelmän pitää kyetä torjumaan vähintään 13 lennokkia samanaikaisesti”. Myös kiinteäsiipisen lennokin siipien kärkiväliä koskevat vaatimukset 52.2.3 ”Järjestelmän pitää kyetä torjumaan lennokki jonka siipien kärkiväli on 1,2m” ja 52.2.4 ”Järjestelmän pitää kyetä torjumaan lennokki jonka siipien kärkiväli on 4m” yhdistettiin uudeksi vaatimukseksi 52.2.5 ”Järjestelmän pitää kyetä torjumaan lennokki jonka siipien kärkiväli on 4m tai vähemmän”. Vaatimukset 52.1.2 ja 52.1.4 käsittelivät lennokin alkuperäisestä käyttötarkoitusta, eivätkä tuoneet lisäarvoa, joten ne liitettiin lennokin kokoa ja tyyppiä koskeviin vaatimuksiin 52.1.1 ”Järjestelmän pitää kyetä torjumaan iso multikopteri” ja 52.1 ”Järjestelmän pitää kyetä torjumaan multikopteri”. Vaatimuksen 52.5.4 ”Järjestelmän pitää kyetä torjumaan useita lennokkeja samanaikai-

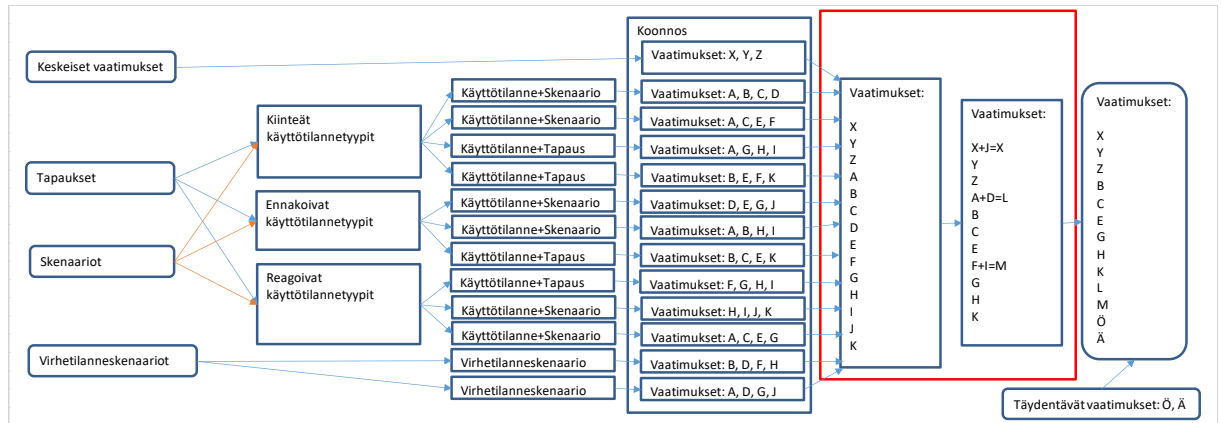
sesti” todettiin sisältyvän jo ylempään vaatimukseen 52.5 ”Järjestelmän pitää kyetä torjumaan lennokkiparvi” joten se yhdistettiin siihen.

Vaatimukset 32 ja 33.1, jotka koskivat järjestelmän käyttöä helikopteriasenteisena, todettiin sellaisiksi, että ne vaatisivat oman vaatimusmäärittelynsä ja rajattiin ulos tästä tutkimuksesta alalukujen 5.7.5 ja 5.8.5 mukaisesti. Tässä vaiheessa jäljellä oli 100 yksittäistä vaatimusta.

Vaatimuksien 9, 14 ja 24 sekä niiden alavaatimuksien todettiin käsittelevän samaa aihepiiriä ja olevan yhdistettävissä yhden päävaatimuksen alle. Luotiin uusi vaatimus 53 ” Järjestelmän pitää mahdollistaa oma ilmailu” joka korvasi vaatimukset 9, 14 ja 24. Sen alle kerättiin edellä mainittujen vaatimusten alavaatimukset. Alavaatimuksista 24.1 ja 9.1 todettiin identtisiksi ja yhdistettiin alavaatimukseksi 53.1 ” Torjuntajärjestelmässä tulee olla omatunnistajärjestelmä”. Selkeyden vuoksi vaatimus 24 siirrettiin alavaatimukseksi 53.2 sekä vaatimus 14 alavaatimuksineen uusiksi alavaatimuksiksi 53.3, 53.4 ja 53.5. Alavaatimus 14.2 sisältyi alavaatimukseen 9.2 ja niistä muodostettiin selkeyden vuoksi uusi vaatimus 54 ”Lennokintorjuntajärjestelmä ei saa estää muiden omien järjestelmien käyttöä”.

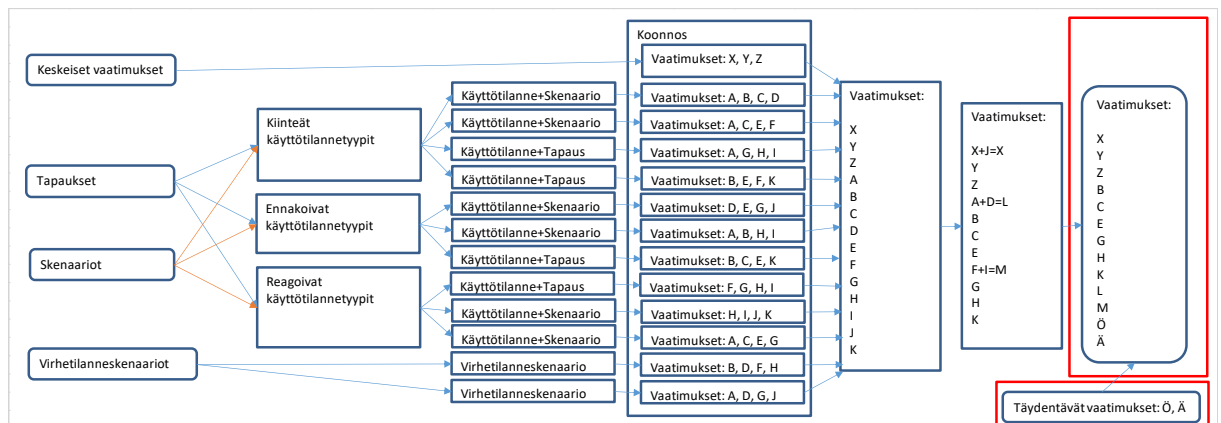
Vaatimuksen 10 ” Lennokintorjuntajärjestelmän pitää kyetä suojaamaan tukikohdan haavoituttavaiset alueet” alavaatimuksineen, sekä vaatimuksen 15 ” Lennokintorjuntajärjestelmän pitää kyetä suojaamaan lentoaseman nousu- ja laskukäytävien alue” alavaatimuksineen todettiin sisältyvän vaatimukseen 8 ”Lennokintorjuntajärjestelmän pitää kyetä suojaamaan vaaditun kokoinen alue”. Koska suojattavan alueen koko on rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle luvun 5.2 mukaisesti, poistettiin vaatimukset 10 ja 15 alavaatimuksineen kokonaan. Vaatimus 34 ”Olisi hyvä, jos lennokintorjuntajärjestelmä ei paljastuisi hyökkääjälle ennen torjuntaa” todettiin luonteeltaan taktiseksi, eikä tekniseksi. Lisäksi sen voitiin katsoa sisältyvän vaatimukseen 30 ” Lennokintorjuntajärjestelmän olisi hyvä olla huomiota herättämätön”, joten se yhdistettiin vaatimukseen 30. Vaatimuksen 34 alavaatimus 34.1 ”Lennokintorjuntajärjestelmä pitää kyetä naamioimaan” siirrettiin alavaatimukseksi vaatimuksen 30 alle alavaatimukseksi 30.1. Vaatimuksen 31 ” Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla helposti siirrettävissä” todettiin sisältyvän vaatimukseen 7 ”Lennokintorjuntajärjestelmä tulee olla siirrettävissä uuteen paikkaan nopeasti” ja se yhdistettiin siihen. Tässä vaiheessa jäljellä oli 29 päävaatimusta ja niillä 60 alavaatimusta, yhteensä 89 yksittäistä vaatimusta.

Alla olevassa vaatimusmäärittelyn prosessia havainnollistavassa vuokaaviossa on kehystetty punaisella identtisten vaatimusten yhdistäminen sekä vaatimusten jalostaminen. Jalostaminen tapahtui sulauttamalla vaatimuksia toisiinsa, joka on kaaviossa merkitty $X+J=X$, sekä uusien vaatimusten luomisella vanhojen pohjalta joka on kaaviossa kuvattu merkinnällä $A+D=L$ ja $F+I=M$.



Kaavio 8: Prosessin vaihe vaatimusten yhdistämis- ja jalostamisvaiheessa

Skenaariotekniikalla tehdyn vaatimusmäärittelyn katsottiin olevan valmis ja vaatimuslistaa verrattiin luvun 3.1 ”Yleisiä kehityssuuntia lennokitteknikassa” tulevaisuuden teknologioihin. Vertailun perusteella lisättiin yksi uusi päävaatimus ja kaksi uutta alavaatimusta. Uusi päävaatimus on vaatimus 55 ”Lennokintorjuntajärjestelmän pitää olla yhteensopiva lennokien lennonjohtojärjestelmän kanssa” ja uudet alavaatimukset ovat vaatimus 52.4.2 ”Lennokintorjuntajärjestelmän pitää kyetä torjumaan inertianavigoinnin perusteella ohjautuva lennokki” sekä vaatimus 52.4.3 ”Lennokintorjuntajärjestelmän pitää kyetä torjumaan reaaliaikaisen kinemaattisen mittauksen perusteella ohjautuva lennokki”. Uusien vaatimusten lisääminen on alla olevassa vaatimusmäärittelyn prosessia havainnollistavassa vuokaaviossa kehystetty punaisella.



Kaavio 9: Prosessin vaihe lisättäessä uusia vaatimuksia

Lopuksi kaikkien vaatimusten kirjoitusasu yhtenäistettiin ja epäselvästi kirjoitettujen vaatimusten sanamuotoja korjattiin yksiselitteisiksi. Kaikki vaatimukset kirjoitettiin muotoon ”tulee” tai ”ei tule”. Vaatimuksia verrattiin Jyri Kosolan *Vaatimustenhallinnan oppaassa* esittämään listaan hyvän vaatimuksen ominaisuuksista [14 s. 18]. Vaatimuksen 8 ”Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä suojaamaan vaaditun kokoinen alue” todettiin olevan epämääräinen

ja olevan sisällytettävissä vaatimuksiin 5 ”Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä luotettavasti havaitsemaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit” ja 6 ”Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä luotettavasti torjumaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit” ja se poistettiin. Myös vaatimus 33 ”Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla käytettävissä vakimuotoisena kaikissa tehtävissä” alavaatimuksineen todettiin epämääräiseksi ja poistettiin. Vaatimuksen 52.6 ”Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan tuliaseen lavetiksi muokattu lennoki” todettiin sisältyvän yleisempiin vaatimuksiin ja se poistettiin. Vaatimus 7.1 ”Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla siirrettävissä ajoneuvoilla” todettiin sekä ympäripyöreäksi että ylimääräiseksi, joten se poistettiin.

Vaatimuksille luotiin *Vaatimustenhallinnan oppaan* mukainen kriittisyysjaottelu [14 s. 15]. Kriittisyys kirjattiin omaan sarakkeeseensa termeillä ”kriittinen”, ”ensisijainen” ja ”toissijainen”. Vaatimusmäärittelyn lopputuloksena saatiin 86 yksittäistä vaatimusta, jotka jakautuivat 27 päävaatimukseen ja 59 alavaatimukseen. Viimeiseksi vaatimukset järjestettiin loogiseen järjestykseen.

Vaatimusmäärittelyn tulos ei ole valmis vaatimuslista. Osa vaatimuksista vaatii vielä lisätarkennuksia, ennen kuin niitä voidaan käyttää. Osassa tapauksista, vaatimukset: 4, 6, 27, 35 sekä 5 ja 7 alavaatimuksineen, kyse on valinnoista ja päätöksistä. Tutkimustieto ei esimerkiksi anna vastausta siihen, kuinka suuri osa lennokeista saa päästä torjuntajärjestelmän ohi. Hankintaprosessissa tämä pitäisi kuitenkin määritellä. Toisissa tapauksissa vaatimuksia tulisi tarkentaa jatkotutkimuksen pohjalta. Tällaisia vaatimuksia ovat: 52.5, 52.5.2, 5.2, 1.2.1 ja 55. Esimerkiksi vaatimukset: 52.5 ja 55 perustuvat tulevaisuuden teknologioihin. Kuluttajille saatavilla olevat lennokkiparvet ja Suomessa käytössä oleva lennokkien lennonjohto eivät ole vielä todellisuutta. Ne ovat kuitenkin tulleet tutkimuksessa esille ja siksi huomioitu myös vaatimusmäärittelyssä. Täydellinen vaatimuslista löytyy tutkimuksen johtopäätöksistä sekä liitteenä olevasta taulukosta.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1. Millainen on kaupallisten minilennokkien muodostama uhka

Lennokkien määrä Suomessa on suuri ja kasvaa edelleen. Ei ole merkkejä siitä, että lennokkien määrän kasvu olisi pysähtymässä. Uudet teknologiat mahdollistavat entistä autonomisemmat ja suorituskykyisemmät lennokit. Kaupallisilla toimijoilla on tahto saada lennokkeja käyttöönsä monenlaisiin tarkoituksiin viljelyn helpottamisesta ruokatoimituksiin. Lennokkitoiminnan ja lennokkien käytön kasvaessa myös kaupallisten minilennokkien muodostama uhka kasvaa.

Tämän tutkimuksen aineiston perusteella lennokka itsessään muodostaa uhan lähinnä lentoliikenteelle. Lennokin ja miehitetyn ilma-aluksen törmäessä on olemassa riski miehitetyn ilma-aluksen vaurioitumiselle [147]. Pahimmillaan tämä johtaa ilma-aluksen putoamiseen ja tuhoutumiseen. Vähimmilläänkin ilma-alus joudutaan tarkastamaan vaurioiden varalta, mikä aiheuttaa viivästyksiä ja taloudellisia kustannuksia. Mikäli lennokka törmää viranomaisten käytössä olevaan miehitettyyn ilma-alukseen se vaarantaa paitsi ilma-aluksen ja sen miehistön, myös niiden tehtävän toteuttamisen. Hälytysluontoisissa tehtävissä, olivat ne virka-apua poliisille, meripelastusta tai alueellisen koskemattomuuden valvontaa, voi viivästys aiheuttaa tehtävän epäonnistumisen.

Lennokit tarjoavat salakuljetukselle uuden menetelmän, joka haastaa perinteiset torjuntakeinot. Lennokkien käyttö on salakuljettajille tavanomaisia menetelmiä turvallisempaa. Kuitenkin lennokka on vain väline ja varsinainen uhka liittyy salakuljetukseen toimintana sekä salakuljetettaviin tuotteisiin. Vankilaan toimitetut aseet, puhelimet ja huumeet aiheuttavat uhan, mutta tämä uhka ei ole riippuvainen siitä, millä keinoin tavara vankilaan päätyi.

Lennokkien muodostamassa uhassa korostuu lennokin rooli lavettina perinteiselle uhalle. Viidessä tapauksessa kahdeksasta sekä viidessä skenaariossa seitsemästä lennokka toimi lavettina jollekin muulle järjestelmälle. Nämä järjestelmät ovat sellaisia, jotka ovat muodostaneet uhan jo aikaisemmin ja lennokka ainoastaan lisää niiden käyttömahdollisuuksia. Lennokit voivat toimia lavettina sekä tiedustelulaitteistolle kuten valetukiasemille ja kameroille mahdollistaen tiedustelulaitteiston helpon siirtämisen toiminta-alueelle. Lennokit voivat toimia lavettina myös vaikuttamisen välineille kuten räjähteille, ampuma-aseille ja kemiallisille taisteluaineille. Myös vaikuttamisen tapauksessa lennokit tarjoavat helpon pääsyn kohteelle. Lennokin käyttö lavettina suojaa iskun tekijää mahdollisilta vastatoimilta. Lennokkiin asennetun asekuorman toimiessa lennättäjä ei ole vaara-alueella ja hänet voi olla erittäin vaikea löytää jälkikäteen. Käytettäessä lennokkia ampuma-aseen lavettina on lennokka jalan liikkuvaa ampujaa vaikeampi maali vastatoimille. Lennokka kykenee liikkumaan nopeasti paikasta toiseen ja iskemään useisiin kaukana toisistaan sijaitseviin kohteisiin peräjälkeen. Usein joukkoampumisessa hyökkääjä itse saa surmansa [148]. Käytettäessä lennokkia lavettina ohjaaja itse ei ole vastaavassa vaarassa. Lennokin ei tarvitse olla vaarallinen, jotta sitä voidaan käyttää häirintään.

Lennokin kyky kulkea ilmassa haastaa perinteiset keinot suojautua. Lennokki ei pysähdy aitoihin tai turvatarkastuksiin. Lennokki kykenee kulkemaan niin korkealla, että tavanomaisilla valvontavälineillä sitä ei havaita. Lennokki voi lentää vartiomiehen yli tulematta nähdäksi tai kuulluksi. Valvontakamerat on yleensä suunnattu tarkkailemaan maassa tapahtuvia asioita, ei ilmatilaa. Lennokkien yleistymisen vaatii valvonnan ulottamista myös ilmatilaan. Ei riitä, että tilaisuus on aidattu ja porteilla on turvatarkastukset sekä ajoesteet. Myös ilmasta tuleva uhka on huomioitava. Ilmavalvonnan järjestelmät ovat kalliita ja monimutkaisia, lennokit taas ovat halpoja ja yksinkertaisia. Tämä luo taloudellisen epätasapainon lennokkien ja niiden havainnointiin sopivien järjestelmien välille.

Vaikka lennokki havaittaisiin, sen kyky liikkua ilmassa tekee siitä vaikeasti pysäytettävän. Lennokki on nopea ja liikehtimiskykyinen. Se pystyy nostamaan korkeutta paeten näin sekä valvontaa että vaikuttamista, mutta myös kiertämään näin esteitä. Erityisesti rakennetulla alueella lennokkien kyky kulkea talojen yli ja olla välittämättä massa olevasta liikenteestä tekee niistä vaikeasti jahdattavia. Vaikka lennokki paikannettaisiin, ei sitä välttämättä kyetä seuraamaan. Lennokki voi lentää talon yli ja olla taas katveessa. Lennokkien korkea huippunopeus korostaa tätä ongelmaa. Minuutti havainnon jälkeen voi tyypillinen multikopteri olla jo kilometrin päässä havaintopaikasta. Rakennetulla alueella tämä on erittäin pitkä matka maata pitkin liikkuvan takaa-ajajan näkökulmasta. Kiinteäsiipiset lennokit ovat multikoptereita paljon nopeampia eikä niitä käytännössä voida rakennetulla alueella ajaa takaa maata pitkin.

Nykyisin saatavilla olevat lennokit ovat erittäin suorituskykyisiä. Odotettavissa on, että tämä suorituskyky vain kasvaa tulevaisuudessa. Nykyinen akkuteknologia mahdollistaa pitkät toiminta-ajat ja tehokkaat moottorit, mikä näkyy lennokkien nopeudessa ja hyötykuormassa. Nykyaikainen kaupallinen minilennokki kykenee kantamaan riittävän suuren hyötykuorman, jotta se voi toimia lavettina hyvin monipuolisesti erilaisille järjestelmille. Edelleen minilennokkeihin kuuluvat suurikokoiset kaupalliset multikopterit ja kiinteäsiipiset lennokit kykenevät kantamaan yli kymmenen kilogramman kuormia. Pienten multikoptereiden ja kiinteäsiipisten lennokkien hyötykuorma jää sadoista grammoista hieman alle kahteen kilogrammaan. Edellä mainitut suorituskyvyt mahdollistavat hyvin monenlaisia hyötykuormia. Lennokkien suorituskyky on hyvä myös ohjattavuuden näkökulmasta. Erityisesti multikopterit ovat erittäin helposti lennätettäviä, sillä ohjaaja antaa vain liikkumiskomentoja, jotka lennokin käyttöjärjestelmä muuttaa komennoiksi osajärjestelmille. Ero on suuri verrattuna perinteisiin radio-ohjattaviin lennokkeihin, joissa ohjaaja manuaalisesti säätää kaikkia osajärjestelmiä. Helppo lennätettävyys on ollut yksi ratkaiseva tekijä multikoptereiden yleistymisessä. Lennokit ovat tällä hetkellä edullisia, helppokäyttöisiä ja suorituskykyisiä.

Lennokkiteknikka kehittyy nopeasti. Lennokkien suorituskyvyn kasvu perustuu erityisesti lennokkivalmistajien panostukseen tuotekehityksessä, jatkuvaan laskentatehon kasvuun sekä akkuteknologian edistymiseen. Akkuteknologia kehittyy voimakkaasti sähköautojen ja kuluttajaelektronikan tarpeiden mukaan ja lennokkiteknikka hyötyy tästä kehityksestä. Lennokkeihin erityisesti liittyvää tutkimusta on paikannus- ja esteenväistötekniikan kehittäminen, joka mahdollistaa lennokkien entistä itsenäisemmän toiminnan. Esteenväistötekniikka myös suojelee lennokkia lennättäjän tekemiltä virheiltä, mikä helpottaa lennokkien käyttöä. Langattomien internetyhteyksien nopeuden kasvu tulee mahdollistamaan lennokkien lennättämisen pelkän internetyhteyden kautta. Internetyhteyden kautta lennätettävä lennokka poistaa rajoitukset lennättäjän ja lennokin väliseltä etäisyydeltä ja tekee lennättäjän radiosuuntimisesta mahdotonta.

Lennokkien määrän kasvu on pakottanut julkiset toimijat huomioimaan lennokkien lennonjohton. Mikäli lennokkien määrä jatkaa kasvuaan, mutta niille suunnattua lennonjohtoa ei ole, johtaa ilmatilan ruuhkautuminen onnettomuuksiin. Lennonjohtoa tarvitaan erityisesti autonomisten lennokkien yleistyessä sekä kuljetuspalveluiden alkaessa käyttää lennokkeja tavarantoimitukseen. Lennokkien kehittyvät autonomiset ominaisuudet lisäävät niiden suorituskykyä, mutta myös kasvattavat niiden uhkaa. Kaupallinen lennokka saattaa tulevaisuudessa kyetä autonomisesti väistämään, mikäli on joutumassa törmäyskurssille esimerkiksi lentokoneen kanssa. Kuitenkin samaa toimintaa voidaan koodia muuttamalla käyttää lentokoneen reitille hakeutuvan lennokin luomiseen. Autonomisesti liikkuvat ja toimivat lennokit vaikeuttavat iskun tekijän kiinni saamista, sillä hän ei välttämättä ole enää alueella lennokin aktivoituessa. Autonomisten lennokkien havainnointi ja torjunta ovat myös kauko-ohjattuja lennokkeja vaikeampaa, sillä niillä ei välttämättä ole viestiliikennettä, jota voisi häiritä tai havainnoida. Autonomiset lennokkiparvet eivät ole vielä kuluttajateknologiaa, mutta tulevaisuudessa ne voivat sitä olla.

5.2. Millaisia aktiivisia keinoja kaupallisten minilennokkien torjuntaan on saatavilla

Kaupallisesti saatavilla olevat lennokintorjuntajärjestelmät toimivat joko kaksivaiheisesti tai yksivaiheisesti. Kaksivaiheisessa ratkaisussa ensimmäisessä vaiheessa lennokka havaitaan, toisessa siihen vaikutetaan. Yksivaiheisessa ratkaisussa vaikutetaan ympäristöön jatkuvasti. Mikäli lennokka päätyy järjestelmän vaikutuspiiriin, se altistuu vaikutukselle. Tyypillinen yksivaiheinen järjestelmä on jatkuvasti toimiva, ympärisäteilevä häirintälähetin.

Lennokkien havaitsemiseen on tässä tutkimuksessa löydetty neljä eri menetelmää. Menetelmät ovat akustinen ja optinen paikantaminen, tutka sekä radiosuuntiminen. Menetelmiä voidaan käyttää joko erikseen tai useamman menetelmän yhdistelmänä. Tyypillisin ratkaisu on käyttää useampaa toisiaan tukevaa menetelmää, mikä lisää havainnon saamisen todennäköisyyttä. Yksinkertaisimmillaan havainnointijärjestelmä koostuu ihmisestä, joka kuulo- ja näköaistinsa perusteella havaitsee lennokin ja käyttää sen jälkeen torjuntajärjestelmää. Monimutkaisimmissa tapauksissa suojattavalle alueelle on asennettu useita erilaisia sensoreita ja sensoreikenttiä, jotka lähettävät dataa johtokeskukseen.

Lennokkien pysäyttämiseen on tutkimuksessa löydetty viisi eri menetelmää. Menetelmät ovat elektroninen häirintä, kineettinen vaikuttaminen maasta, kineettinen vaikuttaminen ilmasta, suunnatun energian aseiden käyttö ja lennokin ohjauksen kaappaaminen. Elektroninen häirintä toimii kauko-ohjattuihin lennokkeihin sekä rajoitetusti autonomisiin lennokkeihin. Kauko-ohjattujen lennokkien tapauksessa vaikutus perustuu ohjaussignaalin katkaisuun, autonomisten lennokkien tapauksessa taas satelliittipaikannuksen kiistämiseen. Kineettisessä vaikuttamisessa maasta lennokkia ammutaan maassa sijaitsevaa järjestelmää käyttäen jollakin kappaleella, joka pudottaa lennokin. Rauhan aikana rakennetulla alueella ratkaisun ongelmana on sen vaarallisuus ympäristölle, ellei puhuta äärimmäisen lyhyistä etäisyyksistä. Kineettinen vaikuttaminen ilmasta tarkoittaa tyypillisesti toista lennokkia, joka on aseistettu laukaistavalla verkolla, jolla kyetään pyydystämään kohteena oleva lennokki. Suunnatun energian ase tarkoittaa tyypillisesti laserpoltinta, jolla lennokkia kuumennetaan, kunnes se vaurioituu lentokyvottomäksi. Myös muita suunnatun energian aseita kuten suurtehomikroaaltolähtimiä on suunniteltu käytettävän lennokintorjuntaan [149]. Lennokin ohjauksen kaappaamisella tarkoitetaan lennokin tietoturva-aukkojen hyödyntämistä ja lennokin ohjauksen kaappaamista kyberhyökkäyksellä.

Markkinoilla on paljon toimijoita ja tuotteita lennokkien torjuntaan. Osa järjestelmistä on suunnattu kuluttajille ja yrityksille häiritsevien lennokkien karkottamiseen, osa taas viranomaiskäyttöön. Lennokintorjuntajärjestelmät seuraavat lennokkien tekniikan, määrän ja käyttötapojen kehittymistä. Monet järjestelmistä pohjautuvat sotilasteknologiaan, kuten häirintälähettimiin, vastatykistötutkiin, ilmatorjuntajärjestelmiin ja sotilaallisia suorituskykyä vastaan suunniteltuihin aktiivisiin omasuojajärjestelmiin. Osalla valmistajista lennokintorjuntajärjestelmä koostuu laitteiston näkökulmasta samoista tuotteista kuin muutkin omasuojajärjestelmät, erot ovat ohjelmistopuolella. Pienemmillä valmistajilla tuotteet taas saattavat perustua täysin siviiliteknologiaan. Saatavilla on suuri joukko eri hintaluokissa olevia tuotteita, jotka perustuvat erilaisiin havainnointi- ja torjuntamenetelmiin. Halvimmat yksittäiset laitteet maksavat satoja euroja. Kattavampien sotilaspuolen järjestelmien hinnat ovat useita miljoonia euroja.

5.3. Minkälaisia vaatimuksia kaupallisten minilennokkien torjuntajärjestelmälle on rakennetulla alueella rauhan aikana?

Sekä rakennettu alue että rauhan aikana toimiminen asettavat lennokintorjuntajärjestelmälle sen toimintaa rajoittavia vaatimuksia. Järjestelmä ei saa aiheuttaa ympäröivälle siviiliyhteiskunnalle vaaraa tai merkittävää haittaa. Koska onnistunut torjunta saattaa aiheuttaa vaaratilanteita suojattavan kohteen ulkopuolella, ei kaikkia torjuntamenetelmiä välttämättä voida käyttää. Alla olevassa taulukossa on vaatimusmäärittelyn lopputuloksena saatu vaatimuslista.

Diaari	Vaatimustaso	Vaatus
5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä luotettavasti havaitsemaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit
6	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä luotettavasti torjumaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit
52	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan pieni kaupallinen lennokka
52.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan multikopteri
52.1.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan yli 50cm leveä multikopteri
52.1.3	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan alle 50cm leveä multikopteri
52.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan kiinteäsiipinen lennokka
52.2.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan sähkömoottoria voimanlähteenään käyttävä kiinteäsiipinen lennokka
52.2.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan polttomoottoria voimanlähteenään käyttävä kiinteäsiipinen lennokka

52.3	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan kauko-ohjattu lennokki
52.4	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan autonominen lennokki
52.4.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan satelliittinavigoinnin perusteella ohjautuva lennokki
52.4.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan inertianavigoinnin perusteella ohjautuva lennokki
52.4.3	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan reaaliaikaisen kinemaattisen mittauksen perusteella ohjautuva lennokki
52.5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan lennokkiparvi
52.5.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan useita erilaisia lennokkeja samanaikaisesti
52.7	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä havaitsemaan lennokki joka lähettää kuvaa
52.8	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan nopeudella 90m/s liikkuva lennokki
52.5.5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan vähintään 13 samanaikaisesti kohdetta lähestyvää lennokkia
52.2.5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan lennokki jonka siipien kärkeväli on 4m tai vähemmän
1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla käytettävissä viranomaisten toimivaltuuksien puitteissa
1.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmässä tulee olla ihminen osana torjunnan päätöksentekoprosessia (man-in-the-loop)
1.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee toimia Suomen lain puitteissa
2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla käytettävissä rakennetulla alueella
2.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän ei tule aiheuttaa vaaraa sivullisille
2.5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä myös pudottamista lievempään voimankäyttöön
2.6	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän torjuntakeinon vaara-alueen tulee olla operaattorin tiedossa
4	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee toimia Suomen olosuhteissa (standardin mukaan)
5.3	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä pudottamaan lennokki heti sen ylitettyä suojattavan alueen rajan
13	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä määrittämään paikka, mihin pudotettu lennokki tippuu
25	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä tekemään lennokille tunnistus
53	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee mahdollistaa oma ilmailu
2.3	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä toimimaan visuaalisesti katveisella alueella
2.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä toimimaan alueella jossa runsaasti laillista sähkömagneettista toimintaa
2.7	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän torjuntakeinon tulee olla kohdennettavissa tarkasti

5.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee havaita suojattavassa kohteessa lentävä kaupallinen lennokka erikseen määritetyllä todennäköisyydellä
5.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä havaitsemaan ja pitämään seurannassa vähintään erikseen määritetty määrä lennokkeja
5.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä määrittämään lennokin sijainti tarkasti (standardin mukaan)
5.4.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä määrittämään lennokin liikesuunta tarkasti (standardin mukaan)
5.4.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä määrittämään lennokin nopeus tarkasti (standardin mukaan)
7	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmä tulee olla siirrettävissä uuteen paikkaan nopeasti
7.2	Ensisijainen	Puolustusvoimien lennokintorjuntajärjestelmän käyttöön koulutetun henkilökunnan tulee kyetä toteuttamaan siirto
7.3	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla siirrettävissä uuteen kiinteään suojattavaan kohteeseen erikseen määritetyssä ajassa
7.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla siirrettävissä kiinteästä suojattavasta kohteesta ennakoiavaan suojattavaan kohteeseen erikseen määritetyssä ajassa
7.5	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmä tulee olla otettavissa käyttöön reservistä uudessa reagoivassa tai ennakoiavassa kohteessa erikseen määritetyssä ajassa
6.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä pudottamaan suojattavalla alueella oleva lennokka mekaanisesti
6.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan kaupallisen lennokin yhteydet erikseen ohjelmoitavilla taajuuksilla
6.2.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan satelliittipaikannus
6.2.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan WiFi
6.2.3	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan tyypilliset radio-ohjaustaajuudet (erillinen taulukko joka luodaan järjestelmää hankittaessa)
6.2.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan matkapuhelinverkko-yhteydet (GSM, 3G, 4G, 5G)
1.2.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän ei tule aiheuttaa vähäistä suurempaa haittaa muulle radioviestinnälle tai yleisen viestintäverkon laitteille tai palveluille
17	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä keräämään rikostutkintaa varten todistusaineistoa
18	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee havaita kohteen aidan ylittävät lennokit
19	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä reagoimaan lennokkiin joka lähtee lentoan suojattavan kohteen välittömästä läheisyydestä.
26	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmään tulee kyetä määrittämään tarkat suojattavan alueen rajat
27	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä havaitsemaan matalalla lentävä lennokka

28	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan matalalla lentävä lennokka
28.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän suorittama matalalla tapahtuva torjunnan ei tule vaarantaa ympäristöä
29	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan lennokka ilman kemikaalikuorman leviämistä
35	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä siirtymään ennakoivasta reagoivaksi nopeasti
36	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä estämään lennokin poistuminen järjestelmän vaikutuspiiristä
37	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmällä tulee olla kyky toimia liikkeestä
38	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä jäljittämään lennokka
38.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmällä tulee olla kyky ajaa takaa lennokka
53.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmässä tulee olla omatunnistejärjestelmä
53.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee mahdollistaa omien lennokkien käyttö alueella
53.3	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee mahdollistaa lentokentän normaali toiminta
53.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän ei tule vaarantaa lentoturvallisuutta
53.5	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee toimia ilmatilassa, jossa runsaasti miehittyjä ilma-aluksia
54	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän ei tule estää muiden omien järjestelmien käyttöä
55	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla yhteensopiva lennokkien lennonjohtojärjestelmän kanssa
16	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä paikantamaan lennokin lennättäjä
17.1	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä valokuvaamaan lennokka
17.2	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä tunnistamaan lastin pudotus
17.3	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä taltioimaan lastin pudotus
17.4	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä paikantamaan pudotettu lasti
17.5	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä valokuvaamaan lennokin ulkoinen lasti
17.6	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä valokuvaamaan lennokin pudotettava lasti
17.7	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä pudottamaan lennokka tutkittavassa kunnossa
17.8	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä tallentamaan lennokin signaali-liikennettä
21	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä estämään asekuorman toimiminen pudotustilanteessa
22	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän käytön ei tule itsessään aiheuttaa paniikkia
30	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla huomiota herättämätön
30.1	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmä tulee kyetä naamioimaan
31.1	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee toimia myös riisutussa kokoonpanossa

Taulukko 3: Vaatimukset

5.4. Miten kaupallisten minilennokkien muodostama uhka voidaan torjua rakennetulla alueella rauhan aikana?

Lennokkien torjuntajärjestelmät ovat pääsääntöisesti lennokkeja kalliimpia. Vain kaikkein edullisimpien lennokintorjuntajärjestelmien kustannukset ovat samassa mittakaavassa kaupallisten minilennokkien kanssa. Tämä rajoittaa niitä kohteita, joita on varaa suojata lennokintorjuntajärjestelmällä. Pitää myös huomioda, että suurin osa lennokeista on luvallisia ja niiden toimintaa ei tulisi estää.

Tehokas lennokintorjunta vaatii useita eri menetelmiä ja välineitä eri tasoille. Osaa suojattavista kohteista voidaan suojata lennokkiuhalta kalliilla kiinteillä järjestelmillä. Toisia kohteita taas suojataan tilapäisesti uhka-arvion perusteella. Joskus saatetaan joutua reagoivaan tilanteeseen, jossa liikkuvalla järjestelmällä reagoidaan lennokkiuhkaan, jonka toteutuminen on jo käynnissä.

Lennokintorjunnan osalta suojattavat kohteet ovat samoja, joita suojataan voimakkaasti myös muilta uhkilta. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota lentoasemien suojaamiseen, sillä lennokki itsessään aiheuttaa vakavan vaaran miehitetyle ilmailulle.

Ensivasteyksiköillä tulisi olla käytössään ainakin joku lennokintorjuntakyky, jolloin reagoivassa tilanteessa lennokkiin päästään vaikuttamaan mahdollisimman nopeasti. Reagoivaa ja ennakoivaa toimintaa ajatellen olisi edullista, mikäli käytettävissä olisi lennokintorjuntaan koulutettu ja varustettu osasto. Osaston tulisi kyetä itsenäisesti pystyttämään ja purkamaan lennokintorjuntajärjestelmä sekä käyttämään sitä liikkumisen aikana. Tämä mahdollistaisi esimerkiksi yleisötapatumien kustannustehokkaan suojaamisen.

Hankittaessa lennokintorjuntajärjestelmää on ennakoitava tulevaisuuden kehityssuuntia. Autonomisuus ja riippumattomuus ulkoisista signaaleista ovat sellaisia kehityssuuntia, jotka aiheuttavat ongelmia monille nykyisistä lennokintorjuntajärjestelmistä. Tunnistus tai vaikutus ei saa perustua pelkästään lennokin ja lennättäjän väliseen signaaliliikenteeseen ja sen katkaisuun. Lennokki tulee tarvittaessa kyetä pudottamaan väkivaltaisesti. Pudottamisesta päättävällä viranomaisella tulee olla riittävät toimivaltuudet ja tilannetiedot pudotuksen tekemiseen. Ennen pudottamista lennokki tulee olla tunnistettu ja pudotuksen sekä torjuntajärjestelmän vaara-alueen tulee olla tiedossa. Lennokin torjuntajärjestelmän ei tule aiheuttaa vaaraa ympäristölle. Lennokintorjunnassa tulee olla mahdollisuus voimankäytön porrastamiseen. Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kerätä rikosteknistä todistusaineistoa toimiessaan ja kyetä torjumaan lennokki siinä kunnossa, että sitä voidaan käyttää todistusaineistona. Lennokintorjuntajärjestelmän tulisi olla naamioitavissa siten, että sitä voidaan käyttää huomiota herättämättömästi. Joissain tilanteissa voi olla edullista avoimesti näyttää järjestelmä ja käyttää julki-

suutta uhan torjuntaan. Toisissa tilanteissa tärkeintä on saada lennokka ja lennättäjä kiinni, jolloin toiminnan salaaminen on perusteltua. Lennokintorjuntajärjestelmän käytön ei tule estää omaa miehitettyä tai miehittämätöntä ilmailua ja siinä on oltava omatunnistusjärjestelmä.

Lennokintorjunnassa ennakkoinnilla on valtavan suuri merkitys. Lennokkien nopeus ja pieni koko johtavat siihen, että uhka voi ilmestyä ja toteutua nopeasti. Mikäli järjestelmä ei ole valmiiksi paikalla, niin lennokkia ei ehditä torjua ennen kuin se on saavuttanut tavoitteensa. Lennokkien huomioiminen uhka-arvioissa ja riittävien resurssien varaaminen lennokintorjuntaan ovat ratkaisevia elementtejä onnistuneessa torjunnassa.

Lennokka on useimmissa tapauksissa vain lavetti varsinaiselle uhalle. Näitä uhkia voidaan siis torjua torjumatta itse lennokkia. Mikäli lennokkipohjaista räjähdettä suunnitteleva ei pääse käsiksi räjähteisiin, ei hän kykene toteuttamaan iskuaan, vaikka saisikin lennokin haltuunsa. Mikäli tiedusteltavaan kohteeseen ei näe kameralla sisään, ei lennokissa oleva kamera auta tiedustelijaa. Monilta tässä työssä kuvatuilta lennokkiuhkilta pystytään suojautumaan torjumatta lennokkia. Tärkeintä on huomioida lennokin mahdollisuus uhka-arviossa ja toimia sen mukaan.

5.5. Jatkotutkimuskysymykset

Tutkimuksen aikana on havaittu neljä jatkotutkimuskysymystä.

”Minkälaisia lainsäädännöllisiä keinoja voitaisiin käyttää lennokkiuhan pienentämiseen?”

”Minkälaisia torjunta- ja havainnointitodennäköisyyksiä lennokintorjuntajärjestelmältä tulisi vaatia?”

”Miten lennokintorjuntajärjestelmiä tulisi käyttää parhaan tuloksen saavuttamiseksi?”

”Minkälaisilla järjestelmillä voitaisiin suojata miehitettyjä ilma-aluksia lennokkiuhalta?”

LÄHTEET

[1] L 11.5.2007/551 15 a § (5.12.2018/1089). Laki puolustusvoimista

[2] *Suomessa on arviolta kymmeniä tuhansia droneja - EU kiristää Suomen löyhää lennokkilainsäädäntöä.* [verkkojulkaisu]. YLE. 18.7.2017 [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9727680>

[3] Jari Pietiläinen. *Droneja lennätetään Suomessa yhä huolimattomammin – Helsinki-Vantaan lentoasema nyt erityisessä vaarassa.* [verkkojulkaisu]. Tamperelainen. 16.5.2018 [Viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <https://www.tamperelainen.fi/artikkeli/662319-droneja-lennatetaan-suomessa-yha-huolimattomammin-helsinki-vantaan-lentoasema-nyt>

[4] Sean Gallagher. *German chancellor's drone "attack" shows the threat of weaponized UAVs.* [verkkojulkaisu] ars TECHNICA. 19.9.2013 [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <https://arstechnica.com/information-technology/2013/09/german-chancellors-drone-attack-shows-the-threat-of-weaponized-uavs/>

[5] *Venezuela 'drone attack': Soldiers seen running - BBC News.* [video] BBC News. 5.8.2018 [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=NdSnWnCiAo0&feature=youtu.be>

[6] #SYRIA. [Facebook päivitys] Venäjän puolustusministeriö. 18.1.2018 [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: <https://www.facebook.com/mod.mil.rus/posts/2031218563787556>

[7] *Isis use of hobby drones as weapons tests Chinese makers.* [verkkojulkaisu] Financial Times. 10.12.2017 [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: <https://www.ft.com/content/82a29f96-c9e7-11e7-ab18-7a9fb7d6163e>

[8] *Drone luvatta Venäjältä Suomeen.* [viranomaistiedote] Tulli. 28.11.2017 [viitattu 3.9.2019] Saatavissa: https://tulli.fi/artikkeli/-/asset_publisher/drone-luvatta-venajalta-suomeen

[9] Eero Mäntymaa. *Kopteri toi vankilaan sukan täydeltä subutexia – dronella voi salakuljettaa vaikka käsiaseita.* [verkkojulkaisu] YLE. 10.10.2017 [viitattu 3.9.2019] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9867140>

- [10] *Väestörakenne, 2018, vuosikatsaus, Lapsettomuus yleistymässä matalammin koulutetuilla*. [verkkojulkaisu] Tilastokeskus. Suomen virallinen tilasto (SVT) 22.11.2019 [viitattu: 30.3.2020] Saatavissa: http://www.stat.fi/til/vaerak/2018/01/vaerak_2018_01_2019-11-22_tie_001_fi.html. ISSN=1797-5379.
- [11] *Taajama*. [määritelmä] Tilastokeskus [viitattu 3.9.2019] Saatavissa: <http://www.stat.fi/meta/kas/taajama.html>
- [12] Eero Valkola. *Kirjallisuustutkimus tutkimusmenetelmänä*. Kirjassa: Esa Lappalainen ja Jorma Jormakka (toim.). Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, 2004. s. 42-49. ISBN 951-25-1540-7
- [13] Auvo Viita-aho. *Vaatimusmäärittely tutkimusmenetelmänä*. Kirjassa: Esa Lappalainen ja Jorma Jormakka (toim.). Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikan laitos, 2004. s. 76-83. ISBN 951-25-1540-7
- [14] Jyri Kosola. *Vaatimusten hallinnan opas*. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, 2013, 155 s. ISBN 978-951-25-2453-2
- [15] *Laadullinen tutkimus*. [verkkosanakirja] Wikipedia. Päivitetty 24.1.2019 [viitattu 3.9.2019] Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Laadullinen_tutkimus
- [16] Markus Laine, Jarkko Bamberg, Pekka Jokinen. *Tapaustutkimuksen käytäntö ja teoria*. Kirjassa: Markus Laine, Jarkko Bamberg, Pekka Jokinen (toim.). Tapaustutkimuksen taito. 2. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press, 2007. s. 9-38. ISBN 978-952-495-032-9
- [17] Sirkka Hirsjärvi, Pirkko Remes, Paula Sajavaara. *Tutki ja kirjoita*. 15., uudistettu painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi, 2009. 464 s. ISBN 978-951-31-4836-2
- [18] Aki Torniainen. *Drone-uhka! – Miehittämättömien lennokkien valvonta ja torjunta*. Poliisiammattikorkeakoulun opinnäytetyö AMK. 2018, Poliisiammattikorkeakoulu, Poliisi (AMK). 34 s. + 1 liitesivu.
- [19] Mikko Mäenpää. *Kyberelektronisten menetelmien soveltuvuus lennokkien torjuntaan lentotukikohdassa*. Pro Gradu. 2019. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 60 s.
- [20] Sampo Nurmio. *Pienten kaupallisten multikopterien suorituskyky taistelukentän valvonnassa*. Pro Gradu. 2018. Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan laitos. 79 s. + 1 liitesivu

- [21] Ben Nassi, Asaf Shabtai, Ryusuke Masuoka, Yuval Elovici. *SoK - Security and Privacy in the Age of Drones: Threats, Challenges, Solution Mechanisms, and Scientific Gaps*. [Systems of Knowledge (SOK)] Cornell University. 12.3.2019 [viitattu: 24.3.2020] Saatavissa: <https://arxiv.org/pdf/1903.05155.pdf>
- [22] Xiufang Shi, Chaoqun Yang, Weige Xie, Chao Liang, Zhiguo Shi, Jiming Chen. *Anti-Drone System with Multiple Surveillance Technologies: Architecture, Implementation, and Challenges Drones*. IEEE Communications Magazine [artikkeli]. Huhtikuu 2018, s. 68-74 [viitattu 6.4.2020] Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8337899&tag=1>
- [23] İsmail Güvenç, Farshad Koohifar, Simran Singh, Mihail L. Sichitiu, David Matolak. *Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones*. IEEE Communications Magazine [artikkeli]. Huhtikuu 2018, s. 75-81 [viitattu 6.4.2020] Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8337900&tag=1>
- [24] Arthur Holland Michel. *COUNTER-DRONE SYSTEMS*. [artikkeli] Center for the Study of the Drone at Bard College, helmikuu 2018 [viitattu 6.4.2020] Saatavissa: <https://dronecenter.bard.edu/files/2018/02/CSD-Counter-Drone-Systems-Report.pdf>
- [25] Quan Quan. *Introduction to Multicopter Design and Control*. Beijing: Beihang University, 2017. 384 s. ISBN 978-981-10-3381-0
- [26] Cambridge dictionary. [verkkosanakirja]. Cambridge Dictionary. [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/drone>
- [27] *Järjestelmätekniikka 1*. 2016, Sotatekniikan laitos (MPKK). Oppikirja. 106 s.
- [28] PVOHJEK-PE VAATIMUSTENHALLINTA SUORITUSKYVYN RAKENTAMISESSA JA YLLÄPIDOSSA, HN919 Liite 2 Vaatimusten dokumentointi_v02. Pääesikunta ja alaiset laitokset/Pääesikunta/Logistiikkaosasto, 22.12.2017.
- [29] Pekka Seppälä. *Uhka käsitteenä*. [artikkeli] Maanpuolustuskorkeakoulu, Strategian laitos Julkaisusarja 3, Strategian asiatietoa, No 16, 2011 ISSN 1236-4975 Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74127/StratL3_16w.pdf?sequence=1
- [30] Miriam McNabb. *DRONEII: Tech Talk – Unraveling 5 Levels of Drone Autonomy*. [verkkoartikkeli] dronelife, 11.3.2019 [viitattu 6.4.2020] Saatavissa: <https://dronelife.com/2019/03/11/droneii-tech-talk-unraveling-5-levels-of-drone-autonomy/>

- [31] Jyri Kosola, Tero Solante. *Digitaalinen taistelukenttä*. Kolmas laitos. Helsinki: Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikan Laitos, 2013. 491s.ISBN 978-951-25-2503-4 (PDF)
- [32] John Patterson. *HELIGUY'S GUIDE TO GEOFENCING*. [verkkoartikkeli] Heliguy, 16.2.2017 [viitattu 6.4.2020] Saatavissa: <https://www.heliguy.com/blog/2017/02/16/heliguys-guide-to-geofencing/>
- [33] *Germany: Pirate Party behind drone stunt at Merkel rally*. [video] YouTube. 16.9.2013 [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=WcFiMCMbUHo>
- [34] Jackson West. *The flying penis menace moves offline in Russia*. [verkkajulkaisu] GAWKER 19.5.2008 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <https://gawker.com/391828/the-flying-penis-menace-moves-offline-in-russia>
- [35] Татьяна Шардина. *Летающий фаллоимитатор*. [verkkajulkaisu] proza.ru. 4.6.2017 [viitattu 17.1.2020] Käännetty Googlen konekääntäjällä. Saatavissa: <https://www.proza.ru/2017/06/04/711>
- [36] *Russian press conference invaded by flying dildo*. [video] THEW3RKS93. 20.5.2008 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=zbnDr_IbdIU
- [37] *Gary Kasparov and the Flying Penis - Subtitled*. [video] scouthenge. 20.5.2008 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=haRZxPw0JYg>
- [38] *Russian Official HECKLED by Flying Dildo during Free Energy Press Conference*. [video] Russia Documentary Films. 28.4.2014 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=Dt-iMKuVLq4>
- [39] timw_brap. *Flying Dildo Invades Russian Space Conference*. [verkkajulkaisu] SICK CHIRPSE. 27.1.2012 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <http://www.sickchirpse.com/flying-dildo-russian-space-conference/>
- [40] *Did Drones Attack Maduro in Caracas?* [verkkajulkaisu]. Bellingcat. 7.8.2018 [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: <https://www.bellingcat.com/news/americas/2018/08/07/drones-attack-maduro-caracas/>
- [41] *The Poor Man's Air Force? Rebel Drones Attack Russia's Airbase in Syria*. [verkkajulkaisu] Bellingcat. 12.1.2018 [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: https://www.bellingcat.com/news/mena/2018/01/12/the_poor_mans_airforce/

- [42] *Gatwick Airport: Drones ground flights*. [verkkouutinen] BBC. 20.12.2018 [viitattu 4.9.2019] Saatavissa: <https://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-46623754>
- [43] *Gatwick chaos: Police 'could shoot down drone'*. [verkkouutinen] BBC. 21.12.2018 [viitattu 4.9.2019] Saatavissa: <https://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-46640033>
- [44] *Gatwick drones: Military stood down after airport chaos*. [verkkouutinen] BBC. 3.1.2019 [viitattu 4.9.2019] Saatavissa: <https://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-46741687>
- [45] *Gatwick Airport drone incident*. [verkkosanakirja] Wikipedia. Päivitetty 12.8.2019 [viitattu 3.9.2019] Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Gatwick_Airport_drone_incident
- [46] Jane Wakefield. *Gatwick airport: How can a drone cause so much chaos?* [verkkouutinen] BBC. 21.12.2018 [viitattu 4.9.2019] Saatavissa: <https://www.bbc.com/news/technology-46632892>
- [47] *List of UAV-related incidents*. [verkkosanakirja] Wikipedia. Päivitetty 16.7.2019 [viitattu 3.9.2019] Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_UAV-related_incidents#Accidents_and_incidents
- [48] *Drone voi kyydittää huumeita, aseita tai vaikkapa räjähteitä – vankiloiden kontrolli ei yllä vielä taivaalle: "Yhtään ei ole vielä saatu narautettua"*. [verkkouutiset] MTV Uutiset. 12.5.2019 [viitattu 4.9.2019] Saatavissa: <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/drone-voi-kyydittaa-huumeita-aseita-tai-vaikkapa-rajahteita-vankiloiden-kontrolli-ei-ylla-viela-taivaalle-yhtaan-ei-ole-viela-saatu-narautettua/7402102>
- [49] *Man Sentenced in Boston for Plotting Attack on Pentagon and U.S. Capitol and Attempting to Provide Detonation Devices to Terrorists*. [viranomaistiedote] FBI. 1.11.2012. [viitattu 8.4.2020] Saatavissa: <https://archives.fbi.gov/archives/boston/press-releases/2012/man-sentenced-in-boston-for-plotting-attack-on-pentagon-and-u.s.-capitol-and-attempting-to-provide-detonation-devices-to-terrorists>
- [50] Nicholas Grossman. *Drones and terrorism*. London, New York: I.B.Tauris & Co. Ltd, 2018. 220 s. ISBN 978 1 78453 830 9
- [51] *ArduPilot*. [kaupallinen verkkosivu] ArduPilot [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://ardupilot.org/index.php/about>

- [52] *Aleph (Japanese cult)*. [verkkosanakirja] Wikipedia. Päivitetty 2.4.2020 [viitattu 8.4.2020] Saatavissa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Aleph_\(Japanese_cult\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Aleph_(Japanese_cult))
- [53] James M. Smith. *AUM SHINRIKYO*. In: Eric A. Croddy, James J. Wirtz, Jeffrey A. Larsen (eds.). *Weapons of Mass Destruction Volume I: Chemical and Biological Weapon*, Santa Barbara: ABC-CLIO, 2005. s. 29-33 ISBN 1-85109-495-4
- [54] Michael Crowley, Paul Rogers, Ralf Trapp. *Preventing Chemical Weapons: Arms Control and Disarmament as the Sciences Converge*. London: The Royal Society of Chemistry, 2018, 652 s. ISBN 978-1-78262-649-7
- [55] Kyle B. Olson. *Recent Incidents and Responder Implications*. In: *Proceedings of the Seminar on Responding to the Consequences of Chemical and Biological Terrorism*. Bethesda: Department of Health & Human services USA, 1995. p. (2-36)- (2-93)
- [56] *AGRAS T16*. [valmistajan tiedote] DJI [viitattu 30.1.2020] Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/t16>
- [57] *AGRAS T16 User Manual v1.2*. [käyttöohje] DJI. joulukuu 2019 [viitattu 30.1.2020] Saatavissa: http://dl.djicdn.com/downloads/t16/20191230/Agras_T16_User_Manual_v1.2_EN.pdf
- [58] Dronenerds [verkkokauppa] Dronenerds [viitattu 30.1.2020] Saatavissa: <https://www.dronenerds.com/products/drones/enterprise-drones/dji-agras-series/agrast16/dji-agras-t16-agrast16-dji.html>
- [59] Dronenerds [verkkokauppa] Dronenerds [viitattu 30.1.2020] Saatavissa: <https://www.dronenerds.com/products/drones/enterprise-drones/dji-agras-series/dji-agras-mg-1s-octocopter-agriculture-drone-ready-to-fly-bundle-agrasmg1s-dji.html>
- [60] *AGRAS MG-1S Series Specs*. [valmistajan tiedote] DJI [viitattu 30.1.2020] Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/mg-1s/info#specs>
- [61] *Sarin Gas*. [verkkosanakirja] Encyclopedia.com. Päivitetty 12.3.2020 [viitattu 8.4.2020] Saatavissa: <https://www.encyclopedia.com/social-sciences-and-law/law/crime-and-law-enforcement/sarin-gas>
- [62] *Isis, Isil, IS-ryhmä vai Daesh?* [ohje] Kotimaisten kielten keskus [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: <http://www.kielitoimistonohjepankki.fi/ohje/517>

- [63] *ISIS drones are attacking U.S. troops and disrupting airstrikes in Raqqa, officials say.* [verkkojulkaisu] The Washington Post. 14.6.2017 [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: https://www.washingtonpost.com/news/checkpoint/wp/2017/06/14/isis-drones-are-attacking-u-s-troops-and-disrupting-airstrikes-in-raqqa-officials-say/?noredirect=on&utm_term=.e0a6121bdbd8
- [64] Jaakko Jylhä. *Droneuhka Santahamina 050618*. Helsinki 5.6.2018, Sisä-Suomen poliisilaitos / TEPO. PowerPoint esitys. 23 diaa.
- [65] Gigantin verkkokauppa [verkkokauppa] Gigantti [viitattu 19.11.2018] Saatavissa: <https://www.gigantti.fi/search?SearchTerm=drone&search=&searchResultTab=>
- [66] *ORION*. [kaupallinen tiedote] Elistair [viitattu 6.4.2020] Saatavissa: <https://elistair.com/orion-tethered-drone/>
- [67] *Avartek Boxer – Advanced Hybrid Power Technology*. [kaupallinen tiedote] Avartek. 2019 [viitattu 6.4.2020] Saatavissa: http://avartek.fi/?page_id=287
- [68] Lambert Wanninger, *Introduction to Network RTK*. [verkkojulkaisu] IAG International Association of Geodesy. 11.6.2004, Päivitetty 16.6.2008 [viitattu 5.2.2020] Saatavissa: <http://www.wasoft.de/e/iagwg451/intro/introduction.html>
- [69] *Inertial guidance system*. [verkkoartikkeli] Encyclopaedia Britannica. Päivitetty 16.6.2017 [viitattu 7.2.2020] Saatavissa: <https://www.britannica.com/technology/inertial-guidance-system>
- [70] *μIMU Module*. [valmistajan tiedote] Inertialsense. 2020 [viitattu: 7.2.2020] Saatavissa: <https://inertialsense.com/product/imu/>
- [71] Nick Haigh. *Navigation via Signals of Opportunity (NAVSOP)*. [valmistajan tiedote] BAE Systems [viitattu 5.2.2020] Saatavissa: <https://www.baesystems.com/en/product/navigation-via-signals-of-opportunity-navsop>
- [72] *Elisa 5G*. [kaupallinen tiedote] Elisa oyj [viitattu 5.2.2020] Saatavissa: <https://elisa.fi/5g/>
- [73] *5G Peittoalueet kuuluvuuskartalla*. [kaupallinen tiedote] Elisa oyj [viitattu 5.2.2020] Saatavissa: <https://elisa.fi/kuuluvuus/>
- [74] *UTM*. [verkkoartikkeli] NASA. Päivitetty 19.3.2020 [viitattu 7.4.2020] Saatavissa: <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml>

- [75] *Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM)*. [verkkoartikkeli] Federal Aviation Administration. Päivitetty 6.3.2020 [viitattu 7.4.2020] Saatavissa: https://www.faa.gov/uas/research_development/traffic_management/
- [76] Tim Wright. *When is a Drone Swarm Not a Swarm?* [verkkoartikkeli] Air&Space. 12.1.2018 [viitattu 25.3.2020] Saatavissa: <https://www.airspacemag.com/daily-planet/when-drone-swarm-not-swarm-180967820/>
- [77] Zachary Kallenborn, Philipp C. Bleek. *Swarming destruction: drone swarms and chemical, biological, radiological, and nuclear weapons*. [verkkoartikkeli] The Nonproliferation Review. 2.1.2019 [viitattu 25.3.2020] Saatavissa: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10736700.2018.1546902?scroll=top&needAccess=true>
- [78] *Perdix Swarm Demo*. [video] US Navy. 12.1.2017 [viitattu: 25.3.2020] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=bsKbGc9TUHc>
- [79] *Most Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) airborne simultaneously*. [verkkoartikkeli] Guinness World Records. 15.7.2018 [viitattu: 25.3.2020] Saatavissa: <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/373319-most%20a0unmanned-aerial%20a0vehicles%20a0uavs-airborne%20a0simultaneously%20a05-kg-or-less>
- [80] *Wing Suomi Helsinki*. [kaupallinen verkkosivu] Wing [viitattu 27.2.2020] Saatavissa: <https://wing.com/finland/helsinki/>
- [81] *Companies that make drones and drone accessories*. [verkkoartikkeli] UAVCoach [viitattu 31.3.2020] Saatavissa: <https://uavcoach.com/drone-companies/#guide-1>
- [82] *MAVIC 2Specs*. [kaupallinen tiedote] DJI [viitattu 31.3.2020] Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/mavic-2/info#specs>
- [83] *PARROT BEBOP 2*. [kaupallinen tiedote] Parrot. 2019 [viitattu 31.3.2020] Saatavissa: <https://www.parrot.com/us/drones/parrot-bebop-2>
- [84] *Alta Pro Specs PROSpecs*. [kaupallinen tiedote] Freefly. 2020 [viitattu 31.3.2020] Saatavissa: <https://freeflysystems.com/alta-pro/specs>
- [85] *AGRAS T16*. [kaupallinen tiedote] DJI [viitattu 31.3.2020] Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/t16/info#specs>

- [86] *MATRICE 600 PROSpecs*. [kaupallinen tiedote] DJI [viitattu 31.3.2020] Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/matrice600-pro/info#specs>
- [87] *UAS: AD-H*. [kaupallinen tiedote] ActionDrone USA. 2020 [viitattu 31.3.2020] Saatavissa: <https://actiondroneusa.com/systems/>
- [88] Antti Lipasti. Toimitusjohtaja, Vertical hobby. Puhelinhaastattelu 1.4.2020. Haastattelumuistiinpanot tutkijalla.
- [89] Royce Tivel. *A Spectator's Guide to RC Pylon Racing*. [verkkoartikkeli] Select Digital [viitattu 1.4.2020] Saatavissa: <https://www.selectdigitals.com/articles/spectators.html>
- [90] Jaakko Jylhä. Rikosylikonstaapeli, Tampereen poliisilaitos. Sähköpostihaastattelu 30.1.2020. Haastattelumuistiinpanot tutkijalla.
- [91] Markku Rätty. SM, kapteeni, Rajojen valvonnan ja kenttätoiminnan pääopettaja, Raja- ja merivartiokoulu. Sähköpostihaastattelu 24.1.2020. Haastattelumuistiinpanot tutkijalla.
- [92] *Lennoikkien lennättämisen ABC*. [verkkoartikkeli] Traficom [viitattu 30.3.2020] Saatavissa: <https://www.droneinfo.fi/fi>
- [93] *Taistelijan opas*. Mikkeli: Maavoimien esikunta, 2913. 271 s. ISBN 978-951-25-2485-3
- [94] Timo Kaurila ja Mikko Miettinen. Erikoistutkija Mikko Miettinen, johtava tutkija Timo Kaurila, Puolustusvoimien tutkimuslaitos. Sähköpostihaastattelu 18.2.2020. Haastattelumuistiinpanot tutkijalla.
- [95] *Elektronisen suojautumisen opas*. Tampere: Maavoimien esikunta, 2018. 154 s.
- [96] Päivi Räsänen. *KIRJALLINEN KYSYMYKSIÄ 988/2014 vp*. [vastaus kirjalliseen kysymykseen] Eduskunta, Helsinki, 12.1.2015 [viitattu 8.4.2020] Saatavissa: <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/sivut/trip.aspx?triptype=ValtiopaivaAsiakirjat&docid=kk+988/2014>
- [97] Jonas Kjellén. *Russian Electronic Warfare The role of Electronic Warfare in the Russian Armed Forces*. Ruotsin puolustusministeriö, syyskuu 2018. 105 s. ISSN 1650-1942
- [98] Roger N. McDermott. *Russia's Electronic Warfare Capabilities to 2025*. Viron puolustusministeriö, syyskuu 2017. ISBN 978-9949-9972-0-6

- [99] *MESMER®*. [valmistajan tiedote] Department 13. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://department13.com/mesmer-3/>
- [100] *Technology*. [valmistajan tiedote] Department 13. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://department13.com/technology/>
- [101] Yolanda Redrup. *Counter-drone company Department 13 scores Raytheon partnership*. [verkkojulkaisu] Financial Review. 8.1.2018 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.afr.com/technology/counterdrone-company-department-13-scores-raytheon-partnership-20180108-h0f3bw>
- [102] Gareth Jennings. *UK signs for Drone Dome C-UAS system*. [verkkojulkaisu] Jane's 360 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.janes.com/article/82347/uk-signs-for-drone-dome-c-uas-system>
- [103] T.T. *Englannin puolustusvoimat ilmeisesti toi israelilaisen Drone Dome C-UAS -järjestelmän Gatwickiin*. [verkkojulkaisu] Lentoposti. 21.12.2018 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: http://www.lentoposti.fi/uutiset/englannin_puolustusvoimat_ilmeisesti_toi_israelilaisen_drone_dome_c_uas_j_rjestelm_n_gatwickiin
- [104] *Active system*. [valmistajan tiedote] Skylock Anti-drone systems [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.skylock1.com/system-overview/active-system/>
- [105] Peter Felstead. *Eurosatory 2018: Skylock offers all-in-one anti-drone solution*. [verkkojulkaisu] Jane's 360 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.janes.com/article/80888/eurosatory-2018-skylock-offers-all-in-one-anti-drone-solution>
- [106] *Skylock cutting-edge anti-drone system disclosed at Eurosatory 2018* [verkkojulkaisu] Armyrecognition. 11.6.2018 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: https://www.armyrecognition.com/eurosatory_2018_official_news_online/skylock_cutting-edge_anti-drone_system_disclosed_at_eurosatory_2018.html
- [107] *SILENT ARCHER® COUNTER-UAS TECHNOLOGY*. [valmistajan tiedote] SRC inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.srcinc.com/pdf/Counter-UAS-Silent-Archer.pdf>

- [108] *Whisper Hunter™ Direction Finder*. [valmistajan tiedote] SRC inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: http://src.cowleyworks.com/sites/default/files/91_Whisper-Hunter-Direction-Finder_11-2-17.pdf
- [109] *GRYPHON S1200 SPECTRUM SENSOR*. [valmistajan tiedote] SRC inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.srcinc.com/pdf/Electronic-Warfare-Gryphon-S1200-Spectrum-Sensor.pdf>
- [110] *AN/TPQ-50 COUNTERFIRE RADAR*. [valmistajan tiedote] SRC inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.srcinc.com/pdf/Radars-and-Sensors-ANTPQ50.pdf>
- [111] *AN/TPQ-49 COUNTERFIRE RADAR*. [valmistajan tiedote] SRC inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.srcinc.com/pdf/Radars-and-Sensors-ANTPQ49.pdf>
- [112] *GRYPHON R1400 RADAR - AIR SURVEILLANCE*. [valmistajan tiedote] SRC inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.srcinc.com/pdf/Radars-and-Sensors-Gryphon-R1400-Radar-Air-Surveillance.pdf>
- [113] *SKYCHASER™ ON-THE-MOVE RADAR*. [valmistajan tiedote] SRC inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <https://www.srcinc.com/pdf/Radars-and-Sensors-SkyChaser.pdf>
- [114] *SRC5986A Micro-transceiver*. [valmistajan tiedote] SRC inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: http://src.cowleyworks.com/sites/default/files/86-SRC5986A_Micro-Transceiver_9-30-16.pdf
- [115] <http://www.pvpaeo.com/> [valmistajan verkkosivu] PVP Advanced EO Systems inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: <http://www.pvpaeo.com/https://www.srcinc.com/pdf/Counter-UAS-Silent-Archer.pdf>
- [116] Mike Wheeler. *SRC and "Silent Archer" (Counter/UAS) A Systems of Systems Solution*. [Workshop esitys] SRC inc. 2019 [viitattu 19.2.2019] Saatavissa: https://www.niac-uw.org/news-events/2017_06_workshop_cyber/Wheeler_0620_SRC_and_CUAS.pdf
- [117] Talal Hussein. *US Army awards \$108m anti-drone technology contract to SRC*. [verkojulkaisu] ARMY technology. 31.1.2019 [viitattu 20.2.2019] Saatavissa: <https://www.army-technology.com/news/us-army-anti-drone-technology/>
- [118] *ANCILE™ (C-UAS)*. [valmistajan tiedote] Allen-Vanguard Corporation. 2019 [viitattu 20.2.2019] Saatavissa: <http://www.allenvanguard.com/product/ancile/>

[119] Craig Lord. *After safeguarding G7 summit, Ottawa's Allen-Vanguard eyeing anti-drone tech market.* [verkkojulkaisu] Ottawa Business Journal. 19.6.2018 [viitattu: 20.2.2019] Saatavissa: <https://obj.ca/article/after-defending-g7-summit-ottawas-allen-vanguard-eyeing-anti-drone-tech-market>

[120] *ABOUT DRONESHIELD.* [kaupallinen tiedote] Dronesield. 2020 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://www.dronesield.com/about-dronesield>

[121] *DroneGun MkIII.* [kaupallinen tiedote] Dronesield. 2020 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://www.dronesield.com/dronegun-mkiii>

[122] *DroneShield secures order from major US government agency.* [verkkoartikkeli] Business news Australia. 9.3.2020 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://www.businessnewsaus.com.au/articles/dronesield-secures-order-from-major-us-government-agency.html>

[123] *Media room.* [kaupallinen tiedote] Dronesield. 2020 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://www.dronesield.com/press-releases>

[124] *Dronekiller.* [kaupallinen tiedote] IXI Electronic warfare. 2020 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://www.ixiew.com/products/dronekiller/>

[125] *Perfectjammer.* [verkkokauppa] Perfectjammer [viitattu 20.2.2019] Saatavissa: <https://www.perfectjammer.com/drone-signal-jammers.html>

[126] *Jammer-Store.* [verkkokauppa] Jammer-Store [viitattu 20.2.2019] Saatavissa: <https://www.jammer-store.com/drone-jammers/>

[127] *Eagles v drones: Dutch police to take on rogue aircraft with flying squad.* [verkkojulkaisu] The Guardian. 12.9.2016 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <https://www.theguardian.com/world/2016/sep/12/eagles-v-drones-dutch-police-take-on-rogue-aircraft-flying-squad>

[128] *Dutch police fight drones with eagles.* [verkkojulkaisu] BBC. 12.9.2016 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <https://www.bbc.com/news/world-europe-37342695>

[129] Toby Sterling. *Dutch police train eagles to snatch enemy drones.* [verkkojulkaisu] Reuters. 2.2.2016 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <https://www.reuters.com/article/us-dutch-police-drones-idUSKCN0VB136>

- [130] Christopher Booker. *Dutch police use eagles to hunt illegal drones*. [verkkajulkaisu] PBS News Hour. 18.9.2016 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <https://www.pbs.org/newshour/show/dutch-police-use-eagles-hunt-illegal-drones>
- [131] *Dutch police use eagles to hunt illegal drones*. [video] PBS News Hour. 18.9.2016 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=00szWWrTNnE>
- [132] Bekijk Ook. *Politie stopt met anti-dronevogels en speurratten*. [verkkajulkaisu] NOS. 6.12.2017 [viitattu 17.1.2020] Käännetty Googlen konekääntäjällä. Saatavissa: <https://nos.nl/artikel/2206271-politie-stopt-met-anti-dronevogels-en-speurratten.html>
- [133] Richard Priday. *The eagle has been grounded: Dutch anti-drone squadron retired*. [verkkajulkaisu] The Register. 12.12.2017 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: https://www.theregister.co.uk/2017/12/12/the_eagle_has_been_grounded/
- [134] *Intercepting hostile drones using birds of prey*. [kaupallinen tiedote] Guard from above. 2019 [viitattu 17.1.2020] Saatavissa: <https://guardfromabove.com/>
- [135] *New DroneHunter F700*. [kaupallinen tiedote] Fortem Technologies. 2020 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://fortemtech.com/products/dronehunter/>
- [136] *Fortem wins US DoD contract to help deter threat networks*. [verkkajulkaisu] Airforce-technology. 4.2.2020 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://www.airforce-technology.com/news/fortem-us-dod-contract-threat/>
- [137] *Fortem Technologies Wins Contract From Department of Defense for Advanced Air-space Security and Defense System*. [lehdistötiedote] Fortem Technologies. 3.2.2020 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://fortemtech.com/blog/fortem-wins-dod-contract/>
- [138] *DroneCatcher A Delft Dynamics product*. [kaupallinen tiedote] Delft Dynamics [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://dronecatcher.nl/#Introduction>
- [139] *EXCIPIO COUNTER UAS (C-UAS) SYSTEMS*. [kaupallinen tiedote] Theiss UAV Solutions. 2018 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <http://www.theissuav.com/counter-uas#counter-uas-1>
- [140] David Szondy. *Drone swarms use nets to catch other drones in flight*. [verkkajulkaisu] New Atlas. 9.3.2020 [viitattu 24.3.2020] Saatavissa: <https://newatlas.com/aircraft/drone-swarms-net-catch-security-snl/>

- [141] *General Atomics Acoustic Detection System Successfully Performs at U.S. Army Event*. [kaupallinen tiedote] General Atomics, 8.3.2018 [viitattu 6.4.2020] Saatavissa: <http://www.ga.com/general-atomics-acoustic-detection-system-successfully-performs-at-us-army-event>
- [142] *ORELIA DRONE-DETECTOR*. [kaupallinen tiedote] DroneBouncer, 2020. [viitattu 6.4.2020] Saatavissa: <http://dronebouncer.com/en/orelia-drone-detector>
- [143] *Tutka*. [sanakirja] MOT Kielitoimiston sanakirja [viitattu: 24.3.2020] Saatavissa: <https://mot.kielikone.fi/mot/puolustusvoimat/netmot.exe?motportal=80>
- [144] Pasi Pasivirta ja Jyri Kosola. *Vaatimustenhallinnan soveltaminen puolustusvoimissa*. Helsinki: Pääesikunta Sotatalousosasto, 2004. 159 s. ISBN 951-25-1548-2
- [145] HP179 MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN TORJUNTA PUOLUSTUS-VOIMISSA. Pääesikunta, 7.3.2019.
- [146] L 11.5.2007/551 2 § (28.6.2017/427) Laki puolustusvoimista
- [147] *Prisma: Droonit - uhka vai mahdollisuus?* [dokumenttielokuva] BBC. 10.2.2020 [viitattu 2.4.2020] Saatavissa: <https://areena.yle.fi/1-50246444#autoplay=true>
- [148] Bonnie Berkowitz, Chris Alcantara. *The terrible numbers that grow with each mass shooting*. [verkkoartikkeli] The Washington Post, updated 26.2.2020. [viitattu 7.4.2020] Saatavissa: <https://www.washingtonpost.com/graphics/2018/national/mass-shootings-in-america/>
- [149] John Keller. *Air Force set to deploy prototype counter-drone directed-energy weapons based on high-power microwaves*. [verkkoartikkeli] The Military & Aerospace Electronics. 26.9.2019. [viitattu 7.4.2020] Saatavissa: <https://www.militaryaerospace.com/rf-analog/article/14040741/highpower-microwaves-counterdrone-directedenergy-weapons>

Liite 1: Vaatimustaulukko täydellisenä

Diaari	Vaatimustaso	Vaatus	Jäitetävyys
5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä luotettavasti havaitsemaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit	Ylätas
6	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä luotettavasti torjumaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit	Ylätas
52	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan pieni kaupallinen lennokka	5, 6
52.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan multi-kopteri	S6 K, S6 E, S6 R, S4 K, S4 E, 52.1.2, S3 R, S2 R, S2 E
52.1.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan yli 50cm leveä multikopteri	S5 K, S5 E, S5 R, S3 R, S1 E, S1 K, Maduro E, Daesh R, Daesh E, Daesh K, Salakuljetus K, Salakuljetus R, S7 R, S7 E, 52.1.4, Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
52.1.3	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan alle 50cm leveä multikopteri	S3 R, Merkel E, Daesh R, Daesh E, Daesh K, Salakuljetus K, Salakuljetus R, Gatwick K, Gatwick R
52.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan kiinteäsiipinen lennokka	Ferdaus K, Khmeimim K
52.2.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan sähkömoottoria voimanlähteenään käyttävä kiinteäsiipinen lennokka	Ferdaus K
52.2.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan poltto-moottoria voimanlähteenään käyttävä kiinteäsiipinen lennokka	Khmeimim K
52.3	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan kauko-ohjattu lennokka	S7 R, S7 E
52.4	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan autonominen lennokka	Ferdaus K, Khmeimim K, 6, S1 K, S1 E
52.4.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan satelliitinavigoinnin perusteella ohjautuva lennokka	Ferdaus K, Khmeimim K

52.4.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan inertia-navigoinnin perusteella ohjautuva lennokki	Luku 3.1
52.4.3	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan reaaliaikaisen kinemaattisen mittauksen perusteella ohjautuva lennokki	Luku 3.1
52.5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan lennokkiparvi	Khmeimim K, 52.5.4, Gatwick K, Gatwick R
52.5.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan useita erilaisia lennokkeja samanaikaisesti	S3 R
52.7	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä havaitsemaan lennokki joka lähettää kuvaa	S7 R, S7 E
52.8	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan nopeudella 90m/s liikkuva lennokki	Ferdaus K
52.5.5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan vähintään 13 samanaikaisesti kohdetta lähestyvää lennokkia	52.5.3, 52.5.1, Khmeimim K, S2 R, S2 E, S1 E, S1 K, Maduro E
52.2.5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan lennokki jonka siipien kärkiväli on 4m tai vähemmän	52.2.3, 52.2.4, Ferdaus K, Khmeimim K
1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla käytettävissä viranomaisten toimivaltuuksien puitteissa	Ylätaso
1.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmässä tulee olla ihminen osana torjunnan päätöksentekoprosessia (man-in-the-loop)	Ylätaso, Laki 15 a § (5.12.2018/1089)
1.2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee toimia Suomen lain puitteissa	Ylätaso
2	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla käytettävissä rakennetulla alueella	Ylätaso
2.1	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän ei tule aiheuttaa vaaraa sivullisille	Ylätaso
2.5	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä myös pudottamista lievempään voimankäyttöön	Ylätaso, S5 K, S6 K, S5 E, S6 E, S5 R, S6 R
2.6	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän torjuntakeinon vaara-alueen tulee olla operaattorin tiedossa	VTS 2, VTS 3

4	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee toimia Suomen olosuh-teissa (standardin mukaan)	Ylätaso
5.3	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä havaitsemaan ja pitämään seurannassa suojattavaa kohdetta lähestyvä len-nokki riittävän aikaisin, jotta se voidaan pudottaa heti sen ylitettyä suojattavan alueen rajan	Ylätaso
13	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä määrittämään paik-ka, mihin pudotettu lennokki tippuu	Khmeimim K, Ferdaus K, Daesh K, S1 K, S4 K, S5 K, S6 K, Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, Daesh E, S1 E, S4 E, S5 E, S6 E, Daesh R, S5 R, S6 R, S7 R
25	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä tekemään lennokille tunnistus	VTs 1
53	Kriittinen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee mahdollistaa oma ilmailu	9, 14, 24, Khmeimim K, Gatwick K, Gatwick R, S1 K, S1 E, S7 E, Gatwick R, S2 R, S3 R, S7 R
2.3	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä toimimaan visuaali-sesti katveisella alueella	Ylätaso
2.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä toimimaan alueella jossa runsaasti laillista sähkömagneettista toimintaa	Ylätaso
2.7	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän torjuntakeinon tulee olla koh-dennettavissa tarkasti	VTs 2
5.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee havaita suojattavassa kohteessa lentävä kaupallinen lennokki erikseen määritetyllä todennäköisyydellä	Ylätaso
5.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä havaitsemaan ja pitämään seurannassa vähintään erikseen määritetty määrä lennokkeja	Ylätaso
5.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä määrittämään len-nokin sijainti tarkasti (standardin mukaan)	VTs 1
5.4.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä määrittämään len-nokin liikesuunta tarkasti (standardin mukaan)	VTs 1

5.4.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä määrittämään lennokin nopeus tarkasti (standardin mukaan)	VTS 1
7	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmä tulee olla siirrettävissä uuteen paikkaan nopeasti	Ylätaso, 31, Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
7.2	Ensisijainen	Puolustusvoimien lennokintorjuntajärjestelmän käyttöön koulutetun henkilökunnan tulee kyetä toteuttamaan siirto	Ylätaso
7.3	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla siirrettävissä uuteen kiinteään suojattavaan kohteeseen erikseen määritetyssä ajassa	Ylätaso
7.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla siirrettävissä kiinteästä suojattavasta kohteesta ennakoivaan suojattavaan kohteeseen erikseen määritetyssä ajassa	Ylätaso
7.5	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmä tulee olla otettavissa käyttöön reservistä uudessa reagoivassa tai ennakoivassa kohteessa erikseen määritetyssä ajassa	Ylätaso
6.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä pudottamaan suojattavalla alueella oleva lennokka mekaanisesti	Ylätaso
6.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan kaupallisen lennokin yhteydet erikseen ohjelmoitavilla taajuuksilla	Ylätaso
6.2.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan satelliittipaikannus	Ylätaso
6.2.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan WiFi	Ylätaso
6.2.3	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan tyypilliset radio-ohjaustaajuudet (erillinen taulukko joka luodaan järjestelmää hankittaessa)	Ylätaso
6.2.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä katkaisemaan matkapuhelinverkko-yhteydet (GSM, 3G, 4G, 5G)	Ylätaso
1.2.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän ei tule aiheuttaa vähäistä suurempaa haittaa muulle radioviestinnälle tai yleisen viestintäverkon laitteille tai palveluille	Laki 15 a § (5.12.2018/1089)

17	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä keräämään rikostutkintaa varten todistusaineistoa	Gatwick K, Gatwick R, Salakuljetus K, Ferdaus K, Daesh K, S1 K, S4 K, S5 K, S6 K, Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, Daesh E, S1 E, S4 E, S5 E, S6 E, S7 E, Salakuljetus R, Daesh R, S3 R, S5 R, S6 R, S7 R
18	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee havaita kohteen aidan ylittävät lennokit	Salakuljetus K, Salakuljetus R
19	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä reagoimaan lennokiin joka lähtee lentoon suojattavan kohteen välittömästä läheisyydestä.	Salakuljetus K, Salakuljetus R
26	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmään tulee kyetä määrittämään tarkat suojattavan alueen rajat	Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
27	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä havaitsemaan matalalla lentävä lennokki	Merkel E, Maduro E
28	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan matalalla lentävä lennokki	Merkel E, Maduro E
28.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän suorittama matalalla tapahtuva torjunnan ei tule vaarantaa ympäristöä	Merkel E, Maduro E
29	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä torjumaan lennokki ilman kemikaalikuorman leviämistä	Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
35	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä siirtymään ennalakoivasta reagoivaksi nopeasti	S7 E, S7 R
36	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä estämään lennokin poistuminen järjestelmän vaikutuspiiristä	S7 E, S3 R, S7 R
37	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmällä tulee olla kyky toimia liikkeestä	Daesh R, S2 R, S3 R, S5 R, S6 R, S7 R
38	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä jäljittämään lennokkia	S3 R, S7 R
38.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmällä tulee olla kyky ajaa takaa lennokkia	S3 R, S7 R
53.1	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmässä tulee olla omatunnistejärjestelmä	S1 K, S1 E, S7 E, Gatwick R, S2 R, S3 R, S7 R, 24.1, Khmeimim K, 9.1

53.2	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee mahdollistaa omien lennokkien käyttö alueella	S1 K, S1 E, S7 E, Gatwick R, S2 R, S3 R, S7 R, 24
53.3	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee mahdollistaa lentokentän normaali toiminta	Gatwick K, Gatwick R, 14
53.4	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän ei tule vaarantaa lentoturvallisuutta	Gatwick K, Gatwick R, 14.1
53.5	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee toimia ilmatilassa, jossa runsaasti miehitettyjä ilma-aluksia	Gatwick K, 14.2
54	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän ei tule estää muiden omien järjestelmien käyttöä	Khmeimim K, 9.2, Gatwick K, Gatwick R, 14.3
55	Ensisijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla yhteensopiva lennokkien lennonjohtojärjestelmän kanssa	Luku 3.1
16	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä paikantamaan lennokin lennättäjä	Gatwick K, Gatwick R, Salakuljetus K, Daesh K, S1 K, S4 K, S5 K, S6 K, Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, Daesh E, S1 E, S4 E, S5 E, S6 E, S7 E, Salakuljetus R, Daesh R, S3 R, S5 R, S6 R, S7 R
17.1	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä valokuvaamaan lennokki	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.2	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä tunnistamaan lastin pudotus	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.3	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä taltioimaan lastin pudotus	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.4	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä paikantamaan pudotettu lasti	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.5	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä valokuvaamaan lennokin ulkoinen lasti	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.6	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä valokuvaamaan lennokin pudottama lasti	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.7	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä pudottamaan lennokki tutkittavassa kunnossa	S5 K, S6 K, S5 E, S6 E, S5 R, S6 R
17.8	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä tallentamaan lennokin signaaliliikennettä	S6 R, S7 R

21	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee kyetä estämään asekuorman toimiminen pudotustilanteessa	S1 K, S4 K, Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, S1 E, S4 E, Aum shinrikyo R
22	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän käytön ei tule itsessään aiheuttaa paniikkia	S1 K, S4 K, Merkel E, Maduro E, S1 E, S4 E
30	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee olla huomiotaherättämätön	Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R, 34, S7 E, S7 R
30.1	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmä tulee kyetä naamioimaan	S7 E, S7 R, 34.1
31.1	Toissijainen	Lennokintorjuntajärjestelmän tulee toimia myös riisutussa kokoonpanossa	Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R

Liite 2: Koostetaulukko jossa sanatarkasti identtiset vaatimukset on poistettu. Vaatimukset raakamuodossa.

Diaari	Vaatus	Jäitetävyys
1	Järjestelmän tulee olla käytettävissä viranomaisten toimivaltuuksien puitteissa	Ylätas
1.1	Man-in-the-loop	Ylätas
1.2	Toimittava laillisesti	Ylätas
1.3	Lennokintorjuntajärjestelmä ei saa aiheuttaa vähäistä suurempaa haittaa muulle radiovies-tinnälle tai yleisen viestintäverkon laitteille tai palveluille	Laki 15 a § (5.12.2018/1089)
2	Järjestelmän tulee olla käytettävissä rakennetulla alueella	Ylätas
2.1	Ei saa aiheuttaa vaaraa sivuillisille	Ylätas
2.3	Pitää kyetä toimimaan visuaalisesti katveisella alueella	Ylätas
2.4	Pitää kyetä toimimaan alueella, jossa runsaasti laillista sähkömagneettista toimintaa	Ylätas
2.5	Pitää kyetä myös pudottamista lievempään voimankäyttöön	Ylätas, S5 K, S6 K, S5 E, S6 E, S5 R, S6 R
2.6	Lennokintorjuntajärjestelmän torjuntakeinon vaara-alueen tulee olla operaattorin tiedossa	VTS 2, VTS 3
2.7	Lennokintorjuntajärjestelmän torjuntakeinon tulee olla kohdennettavissa tarkasti	VTS 2
4	Järjestelmän tulee toimia Suomen olosuhteissa (standardin mukaan)	Ylätas
5	Järjestelmän on kyettävä luotettavasti havaitsemaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit	Ylätas
5.1	Suojattavassa kohteessa 30 metrin korkeudessa lentävä kaupallinen lennokka pitää pystyä havaitsemaan x todennäköisyydellä	Ylätas
5.2	Järjestelmän on kyettävä havaitsemaan ja pitämään seurannassa vähintään x kpl lennokkeja	Ylätas
5.3	Järjestelmän on kyettävä havaitsemaan ja pitämään seurannassa suojattavaa kohdetta lähes-tyvä lennokka riittävän aikaisin, jotta se voidaan pudottaa heti sen ylitettyä suojattavan alueen rajan	Ylätas
5.4	Lennokin sijainti tulee kyetä määrittämään tarkasti	VTS 1

5.4.1	Liikesuunta	VTS 1
5.4.2	Nopeus	VTS 1
6	Järjestelmän on kyettävä luotettavasti torjumaan suojattavalle alueelle lentävät lennokit	Ylätaso
6.1	Järjestelmän on kyettävä pudottamaan suojattavalla alueella oleva lennokka mekaanisesti	Ylätaso
6.2	Järjestelmän on kyettävä katkaisemaan kaupallisen lennokin yhteydet erikseen ohjelmoitavilla taajuuksilla	Ylätaso
6.2.1	Satelliittipaikannus	Ylätaso
6.2.2	WiFi	Ylätaso
6.2.3	Tyypilliset radio-ohjaustaajuudet	Ylätaso
6.2.4	GSM, 3G, 4G, 5G	Ylätaso
7	Järjestelmä on kyettävä siirtämään uuteen paikkaan nopeasti	Ylätaso
7.1	Järjestelmän on oltava siirrettävissä ajoneuvoilla	Ylätaso
7.2	Puolustusvoimien järjestelmän käyttöön koulutetun henkilökunnan on kyettävä toteuttamaan siirto	Ylätaso
7.3	Järjestelmä on kyettävä siirtämään uuteen kiinteään suojattavaan kohteeseen ajassa x	Ylätaso
7.4	Järjestelmä on kyettävä siirtämään kiinteästä suojattavasta kohteesta ennakoivaan suojattavaan kohteeseen ajassa x	Ylätaso
7.5	Järjestelmä on kyettävä ottamaan käyttöön reservistä uudessa reagoivassa tai ennakoivassa kohteessa ajassa x	Ylätaso
8	Järjestelmän on kyettävä suojaamaan vaaditun kokoinen alue	Ylätaso
9	Pitää mahdollistaa oma lentotoiminta	Khmeimim K
9.1	Omatunnistusjärjestelmä	Khmeimim K
9.2	Ei häiritä omia järjestelmiä	Khmeimim K
10	Pitää kyetä suojaamaan tukikohdan haavoittuvaiset alueet	Khmeimim K

10.1	Lentokoneet	Khmeimim K
10.2	Kriittinen infrastruktuuri	Khmeimim K
10.3	Henkilöstö	Khmeimim K
11	Pitää kyetä torjumaan lennokkiparvi	Khmeimim K
11.1	13 lennokkia samanaikaisesti	Khmeimim K
12	Pitää kyetä torjumaan tapauksen Khmeimim lennokit	Khmeimim K
12.1	Kiinteäsiipinen	Khmeimim K
12.2	Polttomoottori	Khmeimim K
12.3	Kärkiväli 4m	Khmeimim K
12.4	GPS ohjaus	Khmeimim K
12.5	Autonominen	Khmeimim K
13	Järjestelmän on kyettävä määrittämään paikka, mihin pudotettu lennokki tippuu	Khmeimim K, Ferdaus K, Daesh K, S1 K, S4 K, S5 K, S6 K, Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, Daesh E, S1 E, S4 E, S5 E, S6 E, Daesh R, S5 R, S6 R, S7 R, VTS 1
14	Pitää mahdollistaa lentokentän normaali toiminta	Gatwick K, Gatwick R
14.1	Ei saa vaarantaa lentoturvallisuutta	Gatwick K, Gatwick R
14.2	Pitää toimia ilmatilassa, jossa runsaasti miehitettyjä ilma-aluksia	Gatwick K
14.3	Ei saa häiritä lentokentän muita järjestelmiä	Gatwick K, Gatwick R
15	Pitää kyetä suojaamaan myös nousu- ja laskukäytävien alue	Gatwick K, Gatwick R
15.1	Pitää havaita nousu- ja laskukäytäviä lähestyvät lennokit ennen kuin ne aiheuttavat vaaraa	Gatwick K, Gatwick R
15.2	olisi hyvä kyetä torjumaan nousu- tai laskukäytävälle pyrkivä lennokki ennen kuin se aiheuttaa vaaraa	Gatwick K, Gatwick R

16	Järjestelmän olisi hyvä kyetä paikantamaan lennokin lennättäjä	Gatwick K, Gatwick R, Salakuljetus K, Daesh K, S1 K, S4 K, S5 K, S6 K, Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, Daesh E, S1 E, S4 E, S5 E, S6 E, S7 E, Salakuljetus R, Daesh R, S3 R, S5 R, S6 R, S7 R
17	Järjestelmän tulee kyetä keräämään rikostutkintaa varten todistusaineistoa	Gatwick K, Gatwick R, Salakuljetus K, Ferdaus K, Daesh K, S1 K, S4 K, S5 K, S6 K, Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, Daesh E, S1 E, S4 E, S5 E, S6 E, S7 E, Salakuljetus R, Daesh R, S3 R, S5 R, S6 R, S7 R
17.1	Järjestelmän tulee kyetä kuvaamaan lennokka	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.2	Järjestelmän tulee kyetä tunnistamaan lastin pudotus	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.3	Järjestelmän tulee kyetä taltioimaan lastin pudotus	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.4	Järjestelmän tulee kyetä paikantamaan pudotettu lasti	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.5	Järjestelmän tulee kyetä kuvaamaan lennokin ulkoinen lasti	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.6	Järjestelmän tulee kyetä kuvaamaan plennokin pudottama lasti	Salakuljetus K, Salakuljetus R
17.7	Olisi hyvä, jos lennokka saataisiin pudotettua tutkittavassa kunnossa	S5 K, S6 K, S5 E, S6 E, S5 R, S6 R
17.8	Olisi hyvä mikäli järjestelmä kykenisi tallentamaan lennokin signaaliliikennettä	S6 R, S7 R
18	Järjestelmän on havaittava kohteen aidan ylittävät lennokit myös alle 30m korkeudessa	Salakuljetus K, Salakuljetus R
19	Järjestelmän on kyettävä reagoimaan lennokkiin joka lähtee lentoon suojattavan kohteen välittömästä läheisyydestä.	Salakuljetus K, Salakuljetus R
20	Järjestelmän on kyettävä torjumaan tapauksen Ferdaus lennokka	Ferdaus K
20.1	Järjestelmän on kyettävä torjumaan nopeudella 45m/s liikkuva lennokka	Ferdaus K
20.2	Kiinteäsiipinen	Ferdaus K
20.3	Sähkömoottori	Ferdaus K
20.4	Autonominen	Ferdaus K
20.5	GPS ohjaus	Ferdaus K
20.6	Kärkiväli 1,2m	Ferdaus K

21	Järjestelmän olisi hyvä kyetä estämään asekuorman toimiminen pudotustilanteessa	S1 K, S4 K, Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, S1 E, S4 E, Aum shinrikyo R
22	Järjestelmä käyttö ei saa itsessään aiheuttaa paniikkia	S1 K, S4 K, Merkel E, Maduro E, S1 E, S4 E
23	Järjestelmän tulee kyetä torjumaan autonominen lennokka	S1 K, S1 E
24	Järjestelmän tulee mahdollistaa omien lennokkien käyttö alueella	S1 K, S1 E, S7 E, Gatwick R, S2 R, S3 R, S7 R
24.1	Omatunnistejärjestelmä	S1 K, S1 E, S7 E, Gatwick R, S2 R, S3 R, S7 R
25	Lennokka on kyettävä tunnistamaan	VTS 1
26	Järjestelmään on kyettävä määrittämään tarkat suojattavan alueen rajat	Merkel E, Maduro E, Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
27	Järjestelmän on kyettävä havaitsemaan myös matalalla lentävä lennokka	Merkel E, Maduro E
28	Järjestelmän on kyettävä torjumaan myös matalalla lentävä lennokka	Merkel E, Maduro E
28.1	Matalalla tapahtuva torjunta ei saa vaarantaa ympäristöä	Merkel E, Maduro E
29	Torjuntajärjestelmän olisi hyvä kyetä torjumaan lennokka ilman kemikaalikuorman leviämistä	Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
30	Torjuntajärjestelmän olisi hyvä olla huomioita herättämätön	Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
31	Torjuntajärjestelmän tulisi olla helposti siirrettävissä	Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
31.1	Torjuntajärjestelmän olisi hyvä toimia myös riisutussa kokoonpanossa	Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
32	Riisuttu järjestelmä tulee kyetä asentamaan helikopteriin	S2 E, S2 R

33	Järjestelmän tulee olla käytettävissä vakimuotoisena kaikissa tehtävissä	S2 E, S2 R, S3 R
33.1	Rajan koptereissa	S2 R
33.2	Poliisin operaatioissa	S2 R
34	Olisi hyvä, jos järjestelmä ei paljastuisi hyökkääjälle ennen torjuntaa	S7 E, S7 R
34.1	Järjestelmä on kyettävä naamioimaan	S7 E, S7 R
35	Järjestelmän on kyettävä siirtymään ennakoivasta reagoivaksi nopeasti	S7 E, S7 R
36	Järjestelmän tulee kyetä estämään lennokin poistuminen järjestelmän vaikutuspiiristä	S7 E, S3 R, S7 R
37	Järjestelmällä on oltava kyky toimia liikkeestä	Daesh R, S2 R, S3 R, S5 R, S6 R, S7 R
38	Järjestelmän tulee kyetä jäljittämään lennokkia	S3 R, S7 R
38.1	Kyky takaa-ajoon	S3 R, S7 R
39	Pitää kyetä torjumaan skenaarion 7 lennokit	S7 R, S7 E
39.1	iso multikopteri	S7 R, S7 E
39.2	Kauko-ohjattu	S7 R, S7 E
39.3	Muokattu tuliaseen lavetiksi	S7 R, S7 E
39.4	Lähetää kuvaa	S7 R, S7 E
40	Pitää kyetä torjumaan tapauksen Gatwick lennokit	Gatwick K, Gatwick R
40.1	Useita	Gatwick K, Gatwick R
40.2	Pieni multikopteri	Gatwick K, Gatwick R
41	Pitää kyetä torjumaan tapauksen Salakuljetus lennokit	Salakuljetus K, Salakuljetus R
41.1	Iso multikopteri	Salakuljetus K, Salakuljetus R
41.2	Pieni multikopteri	Salakuljetus K, Salakuljetus R

42	Pitää kyetä torjumaan tapauksen Daesh lennokit	Daesh R, Daesh E, Daesh K
42.1	Iso multikopteri	Daesh R, Daesh E, Daesh K
42.2	Pieni multikopteri	Daesh R, Daesh E, Daesh K
43	Pitää kyetä torjumaan tapauksen Merkel lennokit	Merkel E
43.1	pieni multikopteri	Merkel E
44	Pitää kyetä torjumaan tapauksen Maduro lennokit	Maduro E
44.1	Iso multikopteri	Maduro E
44.2	2 kpl	Maduro E
45	Pitää kyetä torjumaan tapauksen Aum shinrikyo lennokit	Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
45.1	Iso maatalous multikopteri	Aum shinrikyo E, Aum shinrikyo R
46	Pitää kyetä torjumaan skenaarion 1 lennokit	S1 E, S1 K
46.1	Iso multikopteri	S1 E, S1 K
46.2	2 kpl	S1 E, S1 K
47	Pitää kyetä torjumaan skenaarion 2 lennokit	S2 R, S2 E
47.1	kuvauskäyttöön tehty multikopteri	S2 R, S2 E
47.2	2 kpl	S2 R, S2 E
48	Pitää kyetä torjumaan skenaarion 3 lennokit	S3 R
48.1	kuvauskäyttöön tehty multikopteri	S3 R
48.2	useita erilaisia samanaikaisesti	S3 R
48.3	Iso multikopteri	S3 R
48.4	pieni multikopteri	S3 R
49	Pitää kyetä torjumaan skenaarion 4 lennokit	S4 K, S4 E

49.1	multikopteri	S4 K, S4 E
50	Pitää kyetä torjumaan skenaarion 5 lennokit	S5 K, S5 E, S5 R
50.1	Iso multikopteri	S5 K, S5 E, S5 R
51	Pitää kyetä torjumaan skenaarion 6 lennokit	S6 K, S6 E, S6 R
51.1	multikopteri	S6 K, S6 E, S6 R